

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМ. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”

Механіко-машинобудівний інститут
Кафедра лазерної техніки та фізико-технічних технологій

До захисту допущено
Завідувач кафедри

_____ І.В.Кривцун
(підпис)

“ ____ ” _____ 20__ р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до магістерської дисертація освітньо-кваліфікаційного рівня “магістр”

з спеціальності 8.090208 “Обробка матеріалів за спецтехнологіями”

на тему:

Спосіб виготовлення біметалів при з’єднанні його пластин потужним джерелом енергії

Студент групи _____ **Осипенко Тарас Миколайович**
(шифр групи) (прізвище, ім’я, по батькові) (підпис)

Керівник роботи к.т.н., доц. Романенко Віктор Васильович _____
(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Консультанти:

_____	_____	_____
(назва розділу ДР)	(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)	(підпис)
_____	_____	_____
(назва розділу ДР)	(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)	(підпис)

Київ – 2018

Зміст

Вступ	4
1. Літературний огляд основних способів отримання біметалів	5
1.1. Технології виготовлення і об'єкти застосування зносостійких багат шарових листів	5
1.2. Сучасні матеріали для наплавлення.....	9
1.3. Дугове наплавлення покритим електродом.....	14
1.4. Дугове наплавлення в захисних газах.....	15
1.5. Електрошлакове наплавлення	18
1.6. Плазмове наплавлення.....	21
1.6.1. Плазмове-порошкове наплавлення.....	23
1.7. Лазерне наплавлення та виготовлення біметалів	29
1.8. Порівняльні характеристики деяких методів наплавлення [3],[13] ...	31
Висновки.....	36
2. Лазерно-ливарні методи виготовлення біметалів [15].....	37
2.1. Теоретичний аналіз реалізації технології виробництва біметалів лазерно-ливарним методом	37
2.2. Пристрій для лазерно-ливарного виготовлення біметалів	45
2.3. Автоматизований пристрій для лазерно-ливарного виготовлення біметалів.....	51
2.4. Експериментальна апробація можливості отримання біметалів лазерно-ливарним методом	55
3. Вдосконалення способу виготовлення біметалів. Спосіб виготовлення біметалів при з'єднанні його пластин потужним джерелом енергії	60
3.1. Варіанти реалізації способу виготовлення біметалу при з'єднанні його пластин потужним джерелом енергії [22].....	63
3.1.1. Спосіб виготовлення біметалів при з'єднанні його пластин потужним джерелом енергії з використанням штифта.....	65
3.1.2. Спосіб виготовлення біметалів при з'єднанні його пластин потужним джерелом енергії з використанням збірної пластини основи..	66
3.1.3. Спосіб виготовлення біметалів при з'єднанні його пластин потужним джерелом енергії з використанням технологічних отворів та шайб.	67
3.1.4. Спосіб виготовлення біметалів при з'єднанні його пластин потужним джерелом енергії з використанням ступінчатих технологічних отворів	68
3.2. Приклади отримання біметалічних матеріалів при використанні потужних джерел енергії.....	69
Висновки.....	74
4. Проект по відкриттю підприємства по виготовленню біметалічних листів	75
4.1. Маркетингове дослідження	76

4.2.	Оцінка прибуткової вигоди.....	77
4.3.	Бізнес план	78
4.4.	Команда проекту	79
4.5.	Кошторис і час початку роботи.....	79
4.6.	Оцінка ризиків проекту	80
	Висновки.....	81
	Список використаної літератури і сайтів	82
	Додатки.....	85

ВСТУП

Біметал – матеріал , який може складатися з двох або більше видів металів або сплавів. Основне мета створення біметалів – це створення нових типів матеріалів , де будуть поєднуватись властивості металів або сплавів які входять в його склад для ефективного його використання в різних галузях господарства і промисловості. Також використання біметалів має певний економічний ефект , оскільки дорогі і дефіцитні метали або сплави можуть замінюватись дешевшими біметалами із аналогічними властивостями. В електро- і радіотехніці біметали використовують замість дефіцитних і як наслідок дорогих матеріалів - хороших провідників струму , це пов'язано з тим що густина струму найбільша в зовнішніх шарах матеріалу і зменшується в сторону середини провідника , тому відповідно доцільно використати матеріал для провідника де буде зовнішній шар із великою електропровідністю (мідь, золото, срібло) , а внутрішні шари можуть бути виготовлені із набагато дешевших матеріалів (алюміній , сталь) із значно гіршою електропровідністю, оскільки він несе значно менший вклад в передачу заряджених частинок в провіднику. На різності коефіцієнтів теплового розширення матеріалів біметалу, ґрунтується його широке використання в приладобудуванні . Широкого застосування в машинобудуванні набули деталі із біметалів наприклад біметалічні підшипники тертя , де безпосередню участь у терті бере дорогий сплав бронзи , поміщений в стальну більш дешеву обойму, компресійні кільця двигунів внутрішнього згорання із нанесеним гальванічним способом нікелевим покриттям , яке зменшує тертя при роботі двигуна. В сільському господарстві використовуються біметалічні лемехи плугів із наплавленим зносостійким шаром. Відомі археологічні знахідки із наплавленими рукоятками на мечях. Пластини в біметалі зчеплюються за рахунок міжмолекулярних міжатомних зв'язків одного з одним.

В зв'язку із широким спектром застосування біметалів, набуває актуальності питання пошуку нових способів виготовлення біметалів, задля задоволення потреб промисловості із значним економічним ефектом.

1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД ОСНОВНИХ СПОСОБІВ ОТРИМАННЯ БІМЕТАЛІВ

1.1.ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ І ОБ'ЄКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ЗНОСОСТІЙКИХ БАГАТОШАРОВИХ ЛИСТІВ

У цей час наплавлення є одним з розповсюджених методів відновлення й зміцнення деталей у різних галузях промисловості. Найбільш широко різні способи наплавлення застосовуються при зміцненні деталей машин й механізмів на підприємствах гірничо-металургійної галузі. При цьому в багатьох випадках як таких деталях необхідно наплавляти зношені поверхні на більших площах. Прикладом можуть служити різні шнеки (Рис.1.1. а), сита (Рис.1.1. б), труби (Рис.1.1 в), тічки (Рис.1.1. г), бункера (Рис.1.1.д), лотки без конусних завантажувальних пристроїв доменних печей (Рис.1.1. е). Саме для таких деталей доцільно застосування зносостійких багатошарових листів.

Наплавляти такі деталі в готовому вигляді економічно не вигідно, тому що через складність конструкції й утрудненого заступу автоматизувати процес наплавлення практично неможливо, а ручне й напіваавтоматичне наплавлення не забезпечує високу продуктивність і якість наплавлення. Крім того, через відносну невелику товщину деталей і великої площі поверхні при напавленні необхідно вжити заходів проти деформації таких деталей.

Вирішити ці проблеми можна за рахунок застосування багатошарових зносостійких листів. Такі листи наплавляються з використанням автоматичних високопродуктивних способів з одночасним забезпеченням високої якості зносостійкого шару й з'єднання шарів. Висока якість з'єднання шарів дозволяє використовувати при виготовленні деталей з таких листів операції гнучкі, штампування та інші.

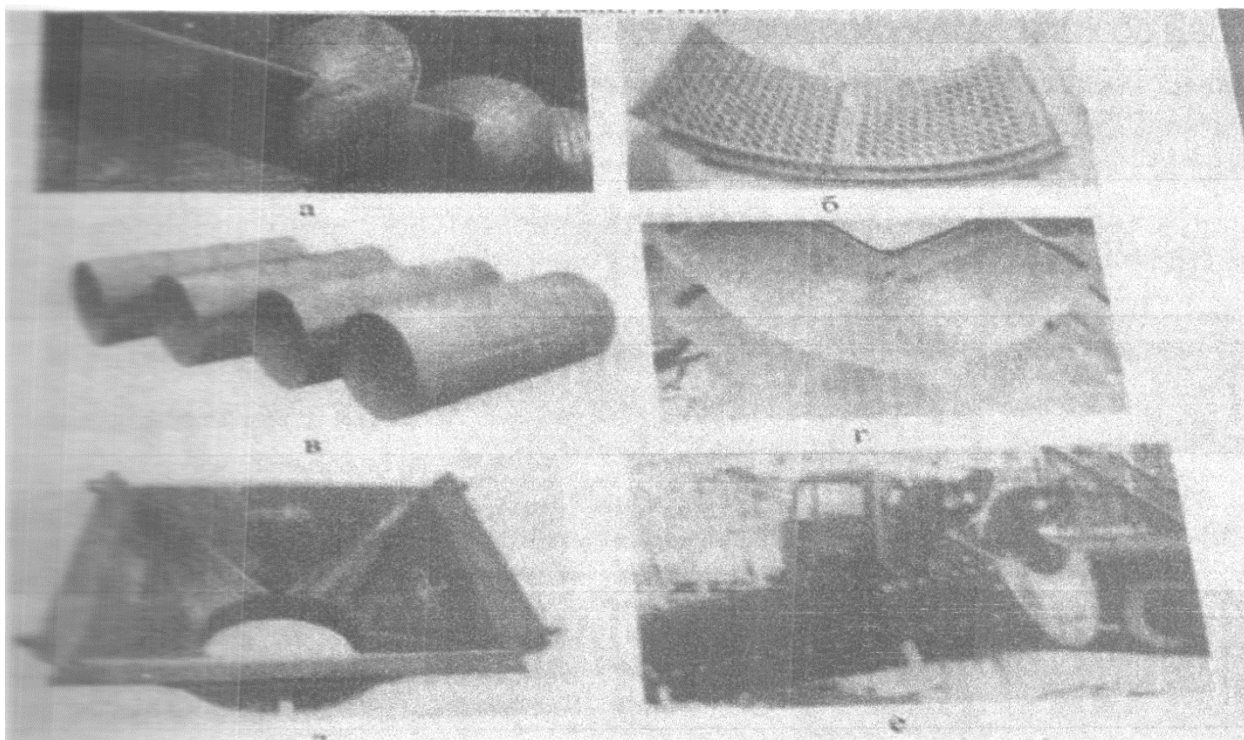


Рис.1.1. Об'єкти застосування багат шарових зносостійких листів: а - шнеки, б - сита; в - труби; г - тічки; д - бункера; е - лотки без конусних завантажувальних пристроїв доменних печей.

В ІЕЗ ім. Є. О. Патона розроблений новий спосіб виготовлення таких листів - високопродуктивне дугове наплавлення порошковими стрічками [1]. Застосування цього електродного матеріалу дозволяє одержувати наплавлений метал з високим ступенем легування й вести процес наплавлення з високою продуктивністю. Продуктивність наплавлення порошковими стрічками досягає 40 кг наплавленого металу в годину.

Порошкові стрічки були розроблені в ІЕЗ ім. Є. О. Патона для наплавлення деталей устаткування, що працює в умовах абразивного газо-абразивного й інших видів зношування.

Порошкові стрічки для наплавлення мають товщину 3-4 мм і ширину 10-30 мм. Коефіцієнт заповнення порошкових стрічок досягає 70%, тобто з їх допомогою можна одержати наплавлений метал зі значно більш високим ступенем легування, чим при наплавленні порошковим дротом. Характерною рисою

більшості порошкових стрічок є їхня універсальність - вони призначені як для наплавлення під флюсом, так і відкритою дугою.

Виходячи з можливих областей застосування багат шарових зносостійких листів. для їхнього наплавлення були обрані три марки порошкових стрічок: ПЛ-АН179, ПЛ-АН180 і ПЛ-АН185, які розроблені в ІЕЗ ім. Є. О. Патона.

Таблиця 1.1

Марки порошкової стрічки	Масова частка елементів %					
	C	Cr	Si	N	Mo	W
500X22Б7М7В2 Ф (ПЛ-АН179)	4, 0-5,2	16,0- 22,0	1,0 -2,5	6, 0-8,0	5,0 -7,0	1 ,0-2,2
450X30М (ПЛ-АН180)	4, 0-5,2	27,0- 35,0	- -	- -1,6	0,6	-
500X22Б7М7 (ПЛ-АН185)	4, 0-5,2	16,0- 22,0	1,0 -2,5	6, 0-8,0	-	-

Хімічний склад наплавленого металу

Слід зазначити, що порошкова стрічка ПЛ-АН185 призначена для наплавлення деталей, що працюють при температурі до 450 °С, стрічка ПЛ-АН180 - до 650 °С, а стрічка ПЛ-АН179 - до 850 °С.

Були проведені дослідження зносостійкості металу, наплавленого порошковими стрічками ПЛ-АН179, ПЛ-АН180, ПЛ-АН185, в умовах абразивного й газо-абразивного видів зношування. Як еталон використовувалися зразки. наплавлені порошковою стрічкою ПЛ-АН101. Результати дослідження представлені на Рис.1.2.



Рис.1.1.1 Відносна зносостійкість наплавленого металу

Які слід було сподіватись, найбільш високу зносостійкість при абразивному й газо-абразивному зношуванні мав високолегований метал, наплавлений порошковими стрічками ПЛ-АН179 і ПЛ-АН180. Однак обидві ці стрічки легуються у великій кількості дорогими легуючими елементами - ніобієм і молібденом. Тому з економічної точки зору, найбільше застосування при виготовленні зносостійких багатошарових листів одержала порошкова стрічка ПЛ-АН180. Ця стрічка трохи уступає по зносостійкості стрічкам ПЛ-АН179 і ПЛ-АН185, але перевищує по цьому показнику широковідому стрічку ПЛ-АН101[1].

1.2. СУЧАСНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ НАПЛАВЛЕННЯ

Для здрібнювання структури наплавленого металу й збільшення його термічної стійкості було запропоновано ряд заново розроблених матеріалів [2]. Вони використовують ефект структурної спадковості. Для цього в шихту порошкових дротів для наплавлення вводяться нанорозмірні карбідні композиції, технологія виготовлення яких була розроблена ПІМ ім. І.М. Францевича НАН України.

Ці композиції використовували в шихті порошкових дротів ПП-Пп-35В9ХЗГСФ ПП-Пп-30Х4У2М2ФС і ПП-Пп-30Х2М2НСТФ, які використовувались для наплавлення інструментів для гарячого деформування металів і сплавів. Були проведені дослідження мікроструктури металу, наплавленого порошковими дротами зі стандартною шихтою й порошковими дротами з дослідною шихтою. У результаті досліджень встановлено, що метал наплавлений порошковими дротами зі стандартною й дослідною шихтою, що містить нанорозмірні карбідні композиції, має значні розходження в структурі. У металі, наплавленому дослідними дротами, зменшується будова мартенситу і збільшується його кількість, а сама структура подрібнювалася.

Мікроструктура металу, наплавленого порошковим дротом ПП-Пп-35В9ХЗГСФ-1 зі стандартною шихтою, являє собою рейковий мартенсит (рейки витягнуті в одному напрямку) з мікротвердістю $HV_{0.5} = 5830$ МПа й невеликої кількості залишкового аустеніту, що має мікротвердість $HV_{0.5} = 5090 \dots 5490$ МПа. У структурі наплавленого металу є також включення карбідів.

Мікроструктура металу, наплавлена порошковим дротом ПП-Пп-35В9ХЗГСФ-2 з досліджуваною шихтою, трохи видозмінюється поряд з рейковим з'являється пластичний мартенсит. Мартенсит має більш високу мікротвердість $HV_{0.5} = 5930$ МПа.

У металі, наплавленому дослідним дротом, є також залишковий аустеніт і його мікротвердість становить $HV_{0.5} = 4410 \dots 5490$ МПа. Слід зазначити, що введення в шихту дослідного порошкового дроту компонентів, що містять

нанорозмірні карбіди, призводить до здрібнювання структури.

Для досліджених типів наплавленого металу, призначених для зміцнення й відновлення інструментів для гарячого деформування металів і сплавів, найважливішими характеристиками є теплостійкість, гаряча твердість, зносостійкість при підвищених температурах і термічна стійкість. Крім дротів ПП-Пп-35В9ХЗГСФ і ПП-Пп-30Х4В2М2ФС додатково досліджували також властивості металу, наплавленого ще одним порошковим дротом для наплавлення інструментів для гарячого деформування металів і сплавів ПП-Пп-30Х2М2НСТФ (ПП-АН147), що також була виготовлена у двох варіантах, зі стандартної (індекс 1) і дослідної (індекс 2) шихтою.

Дослідними порошковими дротами були наплавлені заготовки зі Ст.3, з яких були вирізані зразки для проведення випробувань теплостійкості, гарячої твердості, зносостійкості при підвищених температурах і термічній стійкості.

Визначили твердість зразків при кімнатній температурі й після двогодинної відпустки при 400, 500, 600, 700 °С. Характер залежності твердості від температури відпустки практично однаковий для всіх типів наплавленого (металу, хоча незначну перевагу мають все-таки дослідні типи наплавленого металу.

Була досліджена гаряча твердість всіх типів наплавленого металу. Як видно з наведених даних твердість наплавленого металу всіх типів при температурі 600 °С перебуває на рівні HRC 30...35, при цьому твердість дослідних типів наплавленого металу була на 2...3 одиниці вище.

Випробування на зношування при терті металу по металу при підвищених температурах проводились при наступних умовах: навантаження - 800 Н; швидкість обертання кільця - контр тіла 30 об/хв; амплітуда коливань зразка у вертикальній площині - 20 мм, частота коливань 62 хв⁻¹; температура зразка в зоні стирання - 600...650 °С; час випробувань - 1 год. Контр тіло - кільце діаметром 120 мм. із загартованої сталі 45. Результати випробувань (середні по трьом зразкам) наведені в табл. 1.2.

Випробування показали, що зношування металу, наплавленого порошковими дротами з дослідною шихтою, менше зношування металу,

наплавленого дротами зі стандартною шихтою. Зношування зразків обох типів, наплавлених порошковим дротом ПП-Пп-30Х2М2НСГФ, був вище, ніж у інших типів наплавленого металу. Це, очевидно, пояснюється більше низьким рівнем легування цього наплавленого металу.

Досліджували термічну стійкість наплавленого металу зазначених вище типів. Це найважливіша властивість, що характеризує стійкість наплавленого металу проти утворення поверхневих при багаторазовому нагріванні й охолодженні. Як правило, довговічність інструментів для гарячого деформування металів у першу чергу залежать від цієї властивості. Термостійкість оцінювалась по числу циклів до появи й розвитку на поверхні зразка сітки тріщин розпаду. Результати випробувань наведені в табл. 1.3.

Таблиця 1.2

Тип наплавленого металу	Зношування наплавленого зразка, кг/км 10^{-4}
35В9ХЗГСФ-1	2,9705
35В9ХГСФ-2	2,4589
30Х4В2М2ФС-1	2,7429
30Х4В2М2ФС-2	2,4532
30Х2М2НСГ Ф-1	3,3320
30Х2М2НСГ Ф-2	3,2129

Зношування наплавлених зразків при терті металу по металу при підвищених температурах.

Таблиця 1.3

Тип наплавленого металлу	Термостійкість, кількість циклів	
	Поява сітки тріщин розпалу	Розвиток сітки тріщин розпалу
35У9ХЗГСФ-1	70	90
35У9ХЗГСФ-2	90	130
30Х4У2М2ФС-1	80	ПО
30Х4У2М2ФС-2	95	140
30Х2М2НСГФ-1	120	170
30Х2М2НСГ Ф-2	140	190

Термостійкість наплавленого металу

Випробування термостійкості показали, що використання в шихті порошкових дротів нанорозмірних карбідних композицій підвищує термічну стійкість наплавленого металу - збільшується кількість циклів нагрівання-охолодження до появи й розвитку сітки тріщин розпалу.

Зокрема, для наплавлення деталей устаткування гірничо-збагачувальних комбінатів з конструкційних низько і середньо вуглецевих, нелегованих і низьколегованих сталей типу сталей 20, 30, 35, 30ХГСА, 35ХМ та інші, що експлуатуються в умовах різних видів зношування й циклічних механічних навантажень, розроблені порошкові дроти ПП-Нп-16ХГСТЮ (ПП-АН198, наплавлений метал високоміцна сталь 16ХГС) і ПП-Нп-Г13Х13Н12МФ (ПП-АН202, наплавлений метал Г13Х13Н12МФ, який зміцнюється в результаті наклепу). Порошковий дріт ПП-АН202 може застосовуватися для наплавлення деталей з високо вуглецевих сталей без або з мінімальним підігрівом. Дроти пройшли санітарно-гігієнічну й технологічну перевірку й включені до складу Технічних умов ТУУ 28.7.05416923.066-2002.

Удосконалено порошкові дроти для наплавлення інструментів і оснащення для гарячої обробки металів і сплавів тиском ПП-Нп-35В9Х3ГСФ, ПП-Нп-30Х4В2М2ФС і ПП-Нп-30Х2М2НСГФ. У шихту цих порошкових дротів вводили порошки феросплавів, оброблені за технологією ППМ, з метою одержання в їхній структурі нанорозмірних карбідних композицій і збільшення термостійкості наплавленого металу. Дроти пройшли санітарно-гігієнічну й технологічну перевірку й включені до складу Технічних умов ТУУ 05416926.024-97 (ПП-Нп-35В9Х3ГСФ, ПП-Нп-30Х4В2М2ФС, ПП-Нп-30Х2М2НСГФ).ⁱⁱ

1.3.ДУГОВЕ НАПЛАВЛЕННЯ ПОКРИТИМ ЕЛЕКТРОДОМ

Наплавлення цим способом, заснованим на використанні електродів у вигляді стержнів з покриттям, здійснюють за звичай в ручну [3,7]. Електродні покриття використовують для захисту ванни рідкого металу від кисню та азоту повітря, стабілізації дуги, підвищення технологічності процесу наплавлення і введення легуючих елементів до складу наплавленого металу. Застосовують наступні види електродного покриття: ільменітне, що містить більше 30% ільменіту (FeO-TiC); високо целюлозне з вмістом 20 - 30% целюлози; карбонатно-рутилове; основне (фтористо-кальцієве), основними компонентами якого є карбонат кальцію і флюорит (плавиковий шпат) при мінімальному вмісті вологи; високо рутилове з вмістом до 35% TiO_2 ; покриття системи залізний порошок-рутил з високим вмістом першого компонента; порошкове основне, що містить залізний порошок; покриття системи залізний порошок - оксид заліза; деякі спеціальні покриття, що містять, зокрема, графіт. Широке застосування в практиці дугового наплавлення мають покриття карбонатно-рутилове, основне і високо рутилове. До складу електродного покриття вводять також шлакоформуючі і газоутворюючі компоненти, розкислювачі, стабілізуючі і легуючі добавки.

Рис.1.3



Плавкі електроди із захисним покриттям.ⁱⁱⁱ

1.4.ДУГОВЕ НАПЛАВЛЕННЯ В ЗАХИСНИХ ГАЗАХ

Сутність способу наплавлення в захисних газах [3,7]. В зону горіння дуги під невеликим тиском подають газ, який витісняє повітря з цієї зони і захищає зварювальну ванну від кисню та азоту повітря. У залежності від застосовуваного газозварювання в захисних газах розділяють на зварювання в активних і інертних газах. В захисних газах Зварювання (наплавлення) ведуть як плавким, так і неплавким електродом. У першому випадку метал електрода плавиться і бере участь в утворенні зварного шва. При зварюванні неплавким електродом (зазвичай вольфрамовим) метал електрода не плавиться і з металом шва не реагує, а присадний матеріал вводять в зону дуги окремо. Зварювання неплавким електродом широко застосовують при відновленні деталей з алюмінію і його сплавів. Найбільшого поширення при відновленні автомобільних деталей отримали зварювання і наплавлення в середовищі вуглекислого газу і аргону.

Зварювання та наплавлення деталей в середовищі вуглекислого газу. Зварювання (наплавлення) у вуглекислому газі - це спосіб зварки плавким електродом із захистом зварювальної ванни від повітря вуглекислим газом. Зварювання у вуглекислому газі, суцільним дротом відноситься до найдешевших способів зварювання вуглецевих і низьколегованих деталей. Тому за обсягом виробництва вона займає перше місце серед механізованих способів зварювання плавленням.

При зварюванні в середовищі вуглекислих газів з сопла пальника надходить в зону горіння дуги електродний дріт, витікає струмінь газу, достатня для відтискування повітря від реакційної зони зварювання. Захисні властивості струменя залежить від фізичних властивостей газу, зокрема, від співвідношення його щільності до щільності повітря. Щільність вуглекислого газу достатньо висока, приблизно в 1,5 рази більше щільності повітря що дозволяє забезпечити захист простору дуги від повітря при відносно невеликих расходах газу в струмені. Дослідженнями встановлено, що витрата, газу в обсязі 10 л/хв вже забезпечує достатній захист реакційного простору. Однак в процесі зварювання

вуглекислий газ, який потрапив у зону горіння дуги, дисоціює: $2\text{CO}_2 = 2\text{CO} + \text{O}_2$.

Тому зварювання вже відбувається не в чистому вуглекислому газі, а в суміші газів CO_2 , CO і O_2 . Кількість співвідношення обсягів N цих газів залежить від температури. При температурах T капель металу (приблизно 2600 - 2800 К) вміст кисню в продуктах дисоціації вуглекислого газу тільки дещо менше, ніж в атмосфері повітря. Отже, при зварюванні в середовищі вуглекислого газу забезпечується практично повний захист розплавленого металу від азоту повітря. Однак зберігається майже такий же окислювальний характер газової суміші, яким він ти був при зварюванні голим електродом у атмосфері повітря. Таким чином, при зварюванні в середовищі CO_2 необхідно передбачати заходи по розкисленню направляючого металу. Розкислювання можна проводити двома методами: спеціальною обробкою металу шлаком, додаткового введення флюсу; застосуванням електродного дроту, до складу якої входять хороші розкислювачі.

У практиці зварювально-наплавляючих робіт розповсюдження отримав другий спосіб. В основному при зварюванні в середовищі CO_2 в якості розкислювачів використовують кремній (0,6 - 1,0%) і марганець (1 - 2%).

Зварювальні матеріали, використовувані для зварювання та наплавлення в середовищі вуглекислого газу, це - електродні дроти, що містять розкислювачі Св-0, 8ГС, Св-08Г2С, Св-10ГС, Св-18ХГС, Нп-3ОХГСА, ПП-АН4, ПП-АН5, ПП-АН8, ПП-3Х2В8Т та ін. Зварювання (наплавлення) електродним дротом, що не містить достатньої кількості розкислювачів 31 і Мп і відбувається з великим вмістом вуглецю, супроводжується значним розбризкуванням розплаву, в наплавленому металі спостерігається пористість, підвищується небезпека утворення тріщини. Схема установки для наплавлення в середовищі CO_2 представлена на Рисунку 1.4.

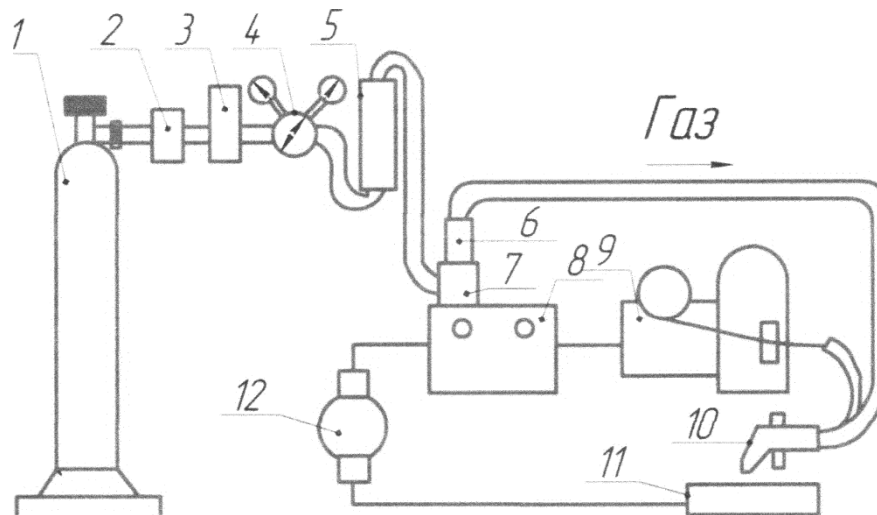


Рис.1.4. Схема установки для наплавлення в середовищі CO₂: 1 - балон з вуглекислим газом; 2 - осушувач; 3 - підігрівач газу; 4 - газовий редуктор; 5 - витратомір газу; 6 - клапан; 7 - електромагніт; 8 - апаратний ящик; 9 - механізм подачі дроту; 10 - пальник; 11 - відновлююча деталь; 12 - джерело струму». ^{iv}

1.5. ЕЛЕКТРОШЛАКОВЕ НАПЛАВЛЕННЯ

Електрошлакове наплавлення — технологія, що ґрунтується на нанесенні розплавленого металу на робочу поверхню виробу, при якій оплавлення основного та розплавлення присадного металів відбувається за рахунок тепла, що виділяється у шлаковій ванні при проходженні через неї електричного струму [4]. Електрошлакове наплавлення здійснюється в горизонтальному, вертикальному або нахиленому положенні, як правило, з примусовим формуванням наплавленого шару.

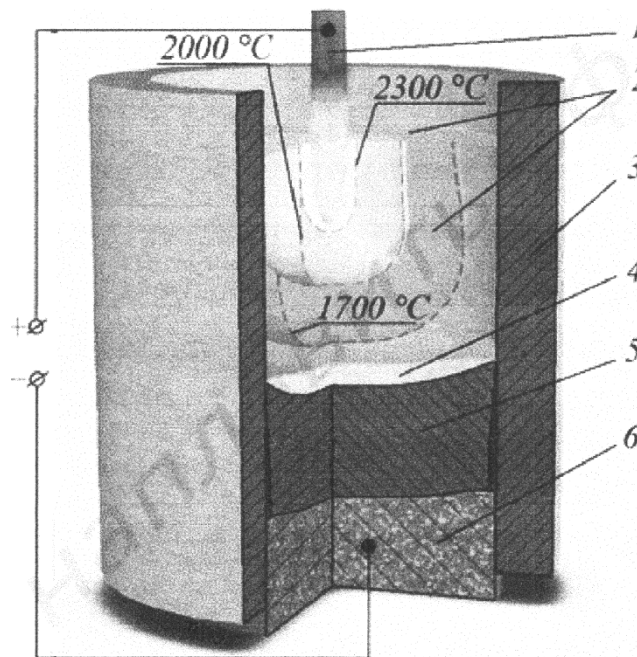


Рис.1.5. Топологія температурного поля в шлаковій ванні: 1 - плавким електродним дротом; 2 - жужільна ванна; 3 - кристалізатор; 4 - ванна розплавленого металу; 5 - наплавлений метал; 6 - виріб.

Температурне поле шлакової ванни характеризується великою неоднорідністю (Рис.1.5). На деякій відстані від електрода температура шлаку становить 1700...1800 °С, а в шлаку, розташованому навколо електрода (на відстані 2...3 діаметрів від його осі), вона може досягати 2000 °С і більше. У

шлаку біля кордонів електродів відбувається газовиділення (на аноді) і нейтралізація катіонів (на катоді). Ці процеси мають місце у відносно тонкому при електродному шарі шлаку (близько 20 мкм), на який нерідко доводиться значна частка повного падіння напруги на шлакової ванні (8...20%). Температура шлаку в цьому шарі може становити 2200...2300 °С. У разі застосування неплавким графітового електрода термоелектричні процеси призводять до ерозії його поверхневого шару, що обумовлює перехід вуглецю в шлак і наплавлений метал.

Розрізняють способи наплавлення за родом зварювального струму і за способом його підведення до системи електрод - наплавлений виріб, а саме: з використанням постійного струму і змінного, однофазної схеми підведення струму і багатофазної. Можна виконувати наплавлення, використовуючи двоконтурну схему електроживлення з включенням в зварювальний ланцюг одного або двох джерел струму та однієї з секцій струмо-провідного кристалізатора. Великий вплив на зварювально-технологічні характеристики ЕШН надає зовнішній вплив на шлаковий і металеві розплави (електромагнітне, механічне та ін.), що також передбачає розділення технологічних процесів наплавлення на спеціалізовані способи.

Збудження, або старт електрошлакового процесу протікає в кілька стадій і полягає в попередньому розплавленні флюсу і нагріві сформованої шлакової ванни до робочої температури. При такій температурі шлак має достатні для стійкого протікання електрошлакового процесу електропровідність і в'язкість.

Існує кілька способів наведення шлакової ванни. Для наведення невеликих обсягів шлаку в процесах ЕШН переважно використовувати теплоту електричної дуги, порушуємо між плавким або неплавким електродом і поверхнею наплавляючого виробу. У міру розплавлення флюсу в порожнині кристалізатора обсяг шлаку збільшується, і виникає електрошлаковий процес. Так як умови стійкого горіння дуги протилежні умовам стійкого електрошлакового процесу, то розплавлення флюсу виконують при підвищених значеннях зварювального струму і напруги на дузі.

Якщо необхідна жужільна ванна великого обсягу, то використовують

спеціальні пристрої (печі, тиглі та ін), в яких флюс попередньо розплавляють. Отриманий шлак заливають в простір між виробом і кристалізатором, а для запобігання переохолодження шлаку на нього подають підвищену (до 60 В) напругу. У міру наростання обсягу шлаку напругу знижують до номінального значення. Інший спосіб заснований на використанні електропровідного у твердому стані флюсу. Такий флюс (АН-25) містить значну кількість нижчих оксидів титану, що впливає на його електронну провідність в твердому стані, за рахунок чого збільшується швидкість формування шлакової ванни.

Одним з найважливіших вимог до процесу наплавлення є забезпечення високої стійкості електрошлакового процесу. На цей показник в різному ступені впливають всі параметри режиму наплавлення, а також електрофізичні властивості шлаку і металевого розплаву зварювальної ванни. Для того щоб процес ЕШН був стійким, необхідно стабілізувати температуру, об'єм шлакової ванни і глибину занурення електрода в шлак.

Електрошлаковий процес протікає однаково стійкий як на постійному, так і на змінному струмі. Якщо ЕШН ведеться з використанням включеної в зварювальний контур дроту, то електрошлаковий процес стійкий у широкому діапазоні щільності струму (0,2...250 А/мм²). Висока стійкість електрошлакового процесу обумовлена насамперед великою тепловою інерцією шлакової ванни, внаслідок чого діючі значення напруги і струму змінюються повільно».^v

1.6. ПЛАЗМОВЕ НАПЛАВЛЕННЯ

Плазмове наплавлення – механізований процес, при якому джерелом теплоти є плазмова дуга, а присадними чи електродними матеріалами – суцільні чи порошкові дроти, нерухома присадка у вигляді литих чи спечених кілець, гранульовані порошки [5]. Завдяки можливості регулювання в широкому діапазоні співвідношення між тепловою потужністю дуги і подачею присадного матеріалу більшість способів плазмового наплавлення забезпечують досить високу продуктивність при мінімальному проплавленні основного металу.

Сутність плазмового наплавлення полягає в нанесенні покриття з розплавленого присадного порошкового або дротяного матеріалу на металеву поверхню з використанням в якості джерела нагріву плазмової дуги, що горить між електродом плазмотрона і виробом.

Мета плазмово-дугового наплавлення - виготовлення нових деталей і виробів зі спеціальними корозійно-стійкими властивостями поверхні, а також відновлення розмірів зношених і бракованих деталей за рахунок нанесення покриттів, що володіють високою щільністю і міцністю зчеплення з виробом, що працюють в умовах високих динамічних, знакозмінних навантажень або схильних абразивного зношування.

Ефект від плазмово наплавлення досягається за рахунок створення на поверхні виробу міцного, зносостійкого, твердого покриття, яке багаторазово підвищує експлуатаційні властивості або відновлює первинний розмір деталі, при збереженні пластичності, в'язкості, тріщино-стійкості основи металу.

Обладнання для плазмово наплавлення складається з джерела струму, блоку апаратури, плазмотрона, порошкового дозатора або пристрою подачі дроту, а також маніпулятора переміщення деталі або плазмотрона. Плазмотрон і порошковий дозатор виготовляються за оригінальним конструкторським розробкам. Маніпулятором для переміщення може служити серійне механічне, зварювальне, наплавляюче обладнання або інші пристрої.

Технологічний процес плазмового наплавлення складається з попередньої

підготовки і безпосередньо плазмового наплавлення, шляхом переміщення виробу щодо плазмотрона або навпаки, з одночасною подачею присадного матеріалу в зону горіння дуги. У якості присадного матеріалу використовуються різноманітні металеві порошки, суцільнотягнуті зварювальні та наплавляючі дроти, порошкові дроти та литі присадні прутки. Номенклатура наплавляються матеріалів: вуглецеві, леговані та високо леговані сталі, леговані чавуни, сплави на основі заліза, нікелю, кобальту, кольорові метали, суміші з карбідами і ін.^{vi}

1.6.1. ПЛАЗМОВО-ПОРОШКОВЕ НАПЛАВЛЕННЯ

Плазмове наплавлення з присадкою порошку найбільш відрізняється від інших способів плазмового наплавлення використовуваними матеріалами, обладнанням і технологічними можливостями [5,11].

Порошки можуть бути отримані практично з будь-якого природного для наплавлення сплаву незалежно від його твердості, пластичності, ступеня легування та інших властивостей, тому з цієї точки зору є універсальним випадочним матеріалом. У виді присадки для плазмового наплавлення застосовують як власне порошки (під порошком звичайним розуміють тонко подрібнене тверде тіло з розмірами частинок до 0,1 мм, в зварювальну техніку - до 0,5 мм), так і більш грубозернисті сипучі матеріали з розмірами частинок до 2.5-3,0 мм.

Наплавлення з присадкою порошку виконують плазмовою дугою прямої дії або двома плазмовими дугами - прямого і непрямого дії із загальним електродом. При цьому використовують різні схеми введення порошку в дугу, які можна розділити на дві групи. В одній групі порошок вводять в дугу всередині плазмотрона (Рис.1.6.1), а в іншій - поза його (Рис.1.6.2).

У плазмотронах з внутрішнім введенням порошку в дугу створюються, як правило, більш сприятливі умови для його нагрівання плазмою. При зовнішній подачі порошку його нагрівання менш ефективне, зате надійність роботи плазмотрона дещо вищий.

Запатентовані схеми введення порошку в дугу через електродну камеру плазмотрона (Рис.1.6.1, а і б) не знайшли практичного застосування, так як внаслідок попадання порошку на електрод, останній швидко виходить з ладу. Плазмотрони з подачею порошку через осьовий отвір у катоді також поки не знайшли практичного застосування через труднощі виготовлення електродів з отвором і складнощами, пов'язаними з подачею порошку через отвір відносно діаметру.

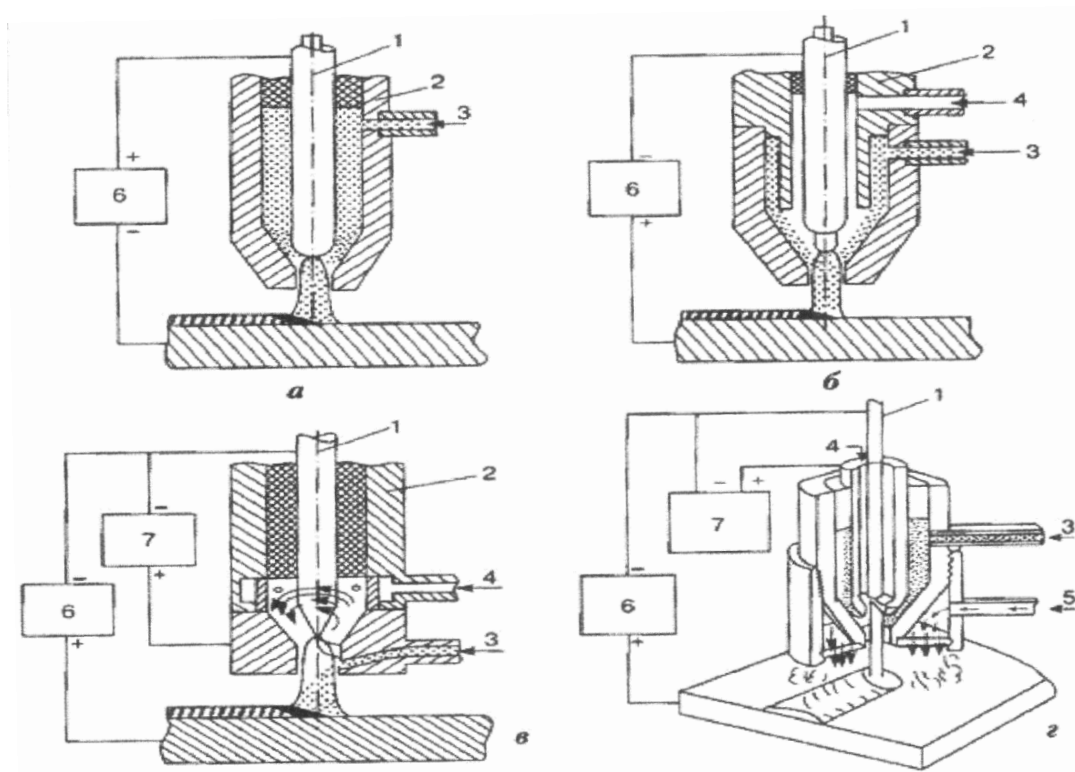


Рис.1.6.1. Схеми плазмового наплавлення з введенням присадочного порошку в дугу всередині плазмотрона: а - разом з плазмо утворюючим газом; б - через електродну камеру; в - через бічний отвір в каналі сопла; г – через воронкоподібну щілину між соплами (1 - мідний водо охолоджуваний електрод (а), водо охолоджуваний з вольфрамовою вставкою (б), вольфрамовий (в, г), 2 - сопло; 3 - введення присадочного порошку з транспортуючим газом; 4 – введення хіазмо утворюючого газу; 5 - введення захисного газу; 6 - джерело живлення дуги прямої дії; 7 - джерело живлення непрямої дуги).

Радіальне введення порошку через бічний отвір в каналі сопла (Рис.1.6.1, в) типовий для напилення, але для наплавлення використовується рідко. За такої схеми введення порошку стабільна робота плазмотрона можлива лише при порівняно великих витратах плазмо утворюючого газу. Ця умова легко виконується при напиленні, але при наплавленні велика витрата плазмо утворюючого газу небажана, так як веде до збільшення глибини проплавлення основного металу.

Для наплавлення ефективною виявилася схема введення порошку в дугу під кутом $25-80^{\circ}$ через воронкоподібну щілину, утворена сполучаються конічними поверхнями внутрішнього і зовнішнього сопел плазмотрона (Рис.1.6.1, г). У цьому випадку двох фазний потік транспортуючого газу і порошку концентрується в дузі, тому не тільки не знижує, а й підвищує її стабільність. Щоб при порівняно великій довжині внутрішньо соплової ділянки дуги електродний-виріб уникнув шунтування дугового розряду соплами і появи так званої каскадної дуги, внутрішнього і зовнішнього сопла, електрично ізолюють один від одного.

Дуга непрямої дії горить між електродом і внутрішнім соплом і служить в основному для забезпечення стійкої роботи плазмотрона. Роль її в нагріванні порошку незначна. Більш потужна дуга прямої дії забезпечує необхідний нагрів поверхні виробу, плавлення присадочного металу та освітлення зварювальної ванни.

При плазмовому наплавленні з зовнішньою подачею присадочного порошку (Рис.1.6.1), останній подають в зону наплавлення через отвори в торці сопла плазмотрона (їх може бути від одного до трьох) або по трубці, розташованій збоку сопла.

При наплавленні сплавів на основі нікелю, кобальту або заліза кут нахилу цих отворів (трубки), їх перетин, витрата транспортуючого газу та інші параметри режиму вибирають такими, щоб порошок вводився в дугу на невеликій відстані від поверхні виробу і потрапляв в зварювальну ванну під дугою. При цьому порошок можна подавати в дугу спереду, ззаду і збоку або тимчасово з декількох сторін (Рис.1.6.2, відповідно а-в). Напрямок подачі порошку в даному випадку, мабуть, не має вирішального значення: на практиці використовують всі ці варіанти.

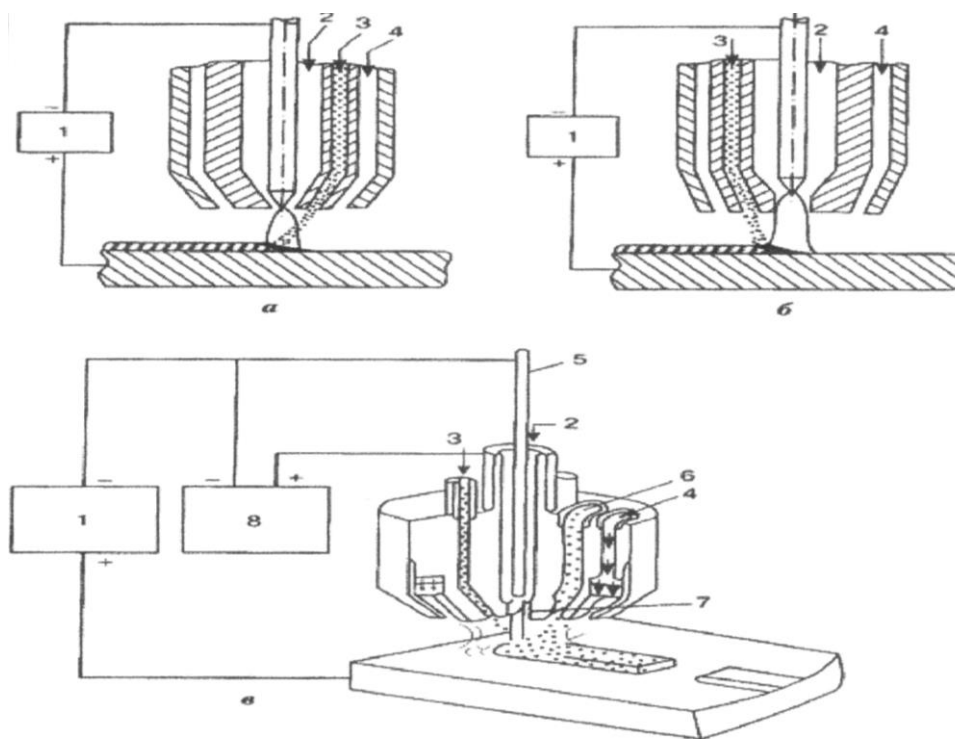


Рис.1.6.2. Схеми плазмового наплавлення з зовнішньою подачею присадочного порошку через отвір в торці сопла «кутом назад» (а) , теж «кутом вперед» (б), по каналах в соплі плазмотрона (в): 1 - по каналах живлення дуги прямої дії; 2 - введення плазмо утворюючого газу; 3 - введення присадочного порошку транспортуючим газом; 4 - введення захисного газу; 5 - електрод; 6 - введення додаткового присадочного порошку; 7 - плазмова дуга; 8 - джерело живлення непрямої дуги.

При наплавленні композиційних сплавів додатковий канал для подачі зміцнюючих частинок карбіду вольфраму найчастіше розташований ззаду дуги і має такий кут нахилу, щоб зерна карбіду потрапляли в зварювальну ванну, минаючи дугу (Рис.1.6.2 в). Це дозволяє усунути або, принаймні, зменшити їх розчинення в розплаві. Зварювальна ванна утворюється за рахунок розплавлення основного металу, захисного покриття, нанесеного на зерна карбіду вольфраму, або порошку сплаву-зв'язки, який подають разом з карбідом або окремо від нього по боковим каналах. У будь-якому випадку наплавлений метал має гетерогенну структуру, що складається з відносно легкоплавкої матриці і не розплавлених зерен карбіду вольфраму.

Очевидно, що зі зміною режиму роботи плазмотрона і видів введення присадочного порошку в дугу змінюються як інтенсивність, так і тривалість нагрівання його частинок плазмою. Експериментальних даних про температуру нагрівання порошку в дузі при наплавленні немає.

При зовнішній подачі порошку час його перебування в дузі значно коротший, а нагрівання не настільки ефективне. За даними В. І. Ірмера, що досліджував енергетичний баланс процесу плазмового наплавлення, на нагрів порошку витрачається при внутрішній його подачі від 9 до 20% потужності дуги, при зовнішній - близько 12%.

Залежно від конструкції плазмотрона для наплавлення застосовують присадочні порошки з розміром частинок від 45 до 250 мкм, рідше - до 400 мкм, одержувані, як правило, шляхом розпилення рідкого металу інертним газом або водою.

Плазмотрони з внутрішньої подачею порошку використовують для наплавлення композиційних шарів, якщо присадочним матеріалом є механічні суміші порошків сплаву-зв'язки і Карбідів вольфраму, ніобію або ванадію. Утворення карбідів в суміші може досягати 75-80% по масі. Величина їх зерен від 20 до 200 мкм. В інших випадках застосовують розділову подачу порошків карбіду і сплаву-зв'язки.

В якості плазми утворюючого і транспортуючих газів для наплавлення порошком застосовують аргон. Як захисний газ використовують аргон, суміш аргону з 5-8% водню або азот. Аргоно-водяна суміш може служити також і для подачі порошку.

Продуктивність плазмово-порошкового наплавлення залежить від потужності плазмотронів, становить 4-10 кг наплавленого металу на годину. Реальна продуктивність наплавки залежить від розмірів і форми виробу, товщини наплавляючого шару, типу присадочного порошку та інших факторів і знаходиться в межах 0,8-6 кг/ч.

МініРисьна товщина наплавленого шару при внутрішній подачі порошку дорівнює 0,25 мм, при зовнішній - 0,5 мм. Найбільша висота одношарового валика

в обох випадках складає 5-6 мм. Можливість нанесення порівняно тонких шарів з
Рисим проплавленням основного металу - важлива перевага плазмового
наплавлення порошком.

При напавленні без коливань плазмотрона напавлені валики мають
ширину 3-10 мм; при напавленні з коливаннями вона може досягати 40-50мм.^{vii}

1.7. ЛАЗЕРНЕ НАПЛАВЛЕННЯ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ БІМЕТАЛІВ

Лазерна наплавлення полягає в локальній подачі присадного матеріалу і короткочасному розплавлюванні матеріалу основи [6,12]. Високий ступінь автоматизації управління процесом дозволяє регулювати не тільки розміри розплавлених зон, але й термічні цикли процесу. Виділяють 3 основних способи утворення покриттів лазерного наплавлення.

Перший спосіб полягає в утворення покриттів оплавленням попередньо нанесених порошків (Рис.1.7). Склад шлікера підбирають таким чином, щоб він мінімально впливав на склад майбутнього покриття. Нанесену на поверхню заготовки пасту оплавляється лазерним променем, послідовно скануючи всю поверхню. Для створення багат шарового покриття необхідно наносити шар шлікера заново після кожного проходу. Перевагою методу є простота технології та легкість конструкції необхідного обладнання, основні недоліки - висока трудомісткість процесу і нерівномірність покриття по причині сил поверхневого натягу рідкого металу.



Рис.1.7. Схема нанесення покриттів оплавленням попередньо нанесеного порошку.

Наступний метод наплавлення покриттів за допомогою лазерного променя полягає в тому, що газо-порошкова суміш доставляється в зону обробки за допомогою бічної подачі, даний метод є найбільш поширеним. Подання порошку в рідку ванну якісно змінює процес наплавлення, дозволяючи створювати як рівномірні по товщині і хімічним складом покриття, так і композитні матеріали із збереженням зміцнюючої фази. Подача газо-порошкового струменя може здійснюватися як збоку руху променя, так і назустріч. При цьому формуються валики які будуть мати різну геометрію. Недоліком методу є несиметричність подачі порошку щодо напрямку руху навіть при створенні покриттів скануванням лазерного променя в площині.

Останній метод лазерного наплавлення отримав назву коаксіального наплавлення, у даному випадку газо-порошковий потік подається в зону впливу лазерного випромінювання симетрично з усіх боків - стискається в фокус конусом. Формування такого симетричного рівномірного конуса порошку-головна складність даного методу. Коаксіальне наплавлення – найбільш універсальний спосіб створення як однорідних, так і композитних покриттів на плоских і тривимірних поверхнях.^{viii}

1.8. ПОРІВНЯЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕЯКИХ МЕТОДІВ НАПЛАВЛЕННЯ [3,13]

1. Дугове наплавлення покритими електродами відрізняється низькою вартістю обладнання, можливістю виконання наплавлення вручну, що забезпечує цьому способу саме широке застосування для наплавлення не тільки чорних, але і кольорових металів.

Ручне наплавлення поступається автоматичним і напівавтоматичним способам по швидкості виконання процесу, проте вона має ряд переваг, що забезпечують їй найбільш широке поширення серед усіх відомих способів наплавлення чорних і кольорових металів:

можливість наплавлення виробі складної форми,

можливість вибору наплавочного матеріалу, найбільш придатного для конкретного призначення, з широкого асортименту покритих наплавочних електродів;

транспортабельність устаткування, що дозволяє виконувати наплавлення в польових умовах.

2. Зварювання в середовищі CO_2 має цілий ряд переваг: високу ступінь концентрації дуги і щільності струму, що дають мінімальну зону структурних змін металу; великий ступінь захисту зварювальної ванни від дії зовнішнього середовища; істотну продуктивність; можливість спостереження за формуванням шва, зварювання металу різної товщини (від десятих долей до десятків міліметрів), виробництва зварювання в різних просторових положеннях, механізації, автоматизації технологічного процесу; незначну чутливість до іржі та інших забруднювачів основного металу.

Однак необхідно мати на увазі і її недоліки: сильне розбризкування металу при струмі більше 500 А, що вимагає постійного захисту і очищення сопла пальника; відкрита потужна дуга дає інтенсивне випромінювання і вимагає захисту зварника; при значних струмах необхідно передбачати охолодження

пальника; зварювання здійснюється практично тільки на постійному струмі; потрібно спеціальний дріт.

4. Електрошлакове наплавлення (ЕШН) вигідне, коли потрібно наплавити велику кількість металу.

Переваги:

відсутність розбризкування металу;

висока якість, оскільки шлак надійно захищає рідку ванну від шкідливого впливу повітря;

економія флюсу і електроенергії (у порівнянні з дуговим процесом витрата флюсу в 20 разів, а електроенергії в 1,5-2 рази менше);

можливість наплавлення сталей і сплавів з підвищеною схильністю утворення тріщин;

висока продуктивність, можливість додавати наплавленому металу необхідну форму.

Недоліки:

велика погонна енергія викликає перегрів основного металу і ЗТВ;

неможливість одержання наплавлених шарів Росої товщини (мін 3-4мм).

Застосовується в металургії для наплавлення прокатних валків; у виробництві біметалічних заготовок для відновлення ковшів, зубів екскаватора; зубів великомодульних шестірень.

5. Плазмово-дугове наплавлення. У порівнянні з аналогами - газопроменевого та електродугового наплавленням в середовищі вуглекислого газу і аргону процес плазмово-дугового наплавлення.

Переваги:

мінімальна частка основного металу в наплавленому;

висока стабільність і стійкість дуги;

збільшений зазор між виробом і соплом плазмотрона знижує вимоги до точності його підтримки, полегшує спостереження за наплавленням і забезпечує свободу маневру з присадним матеріалом;

найменше зниження опору утоми наплавленого виробу;

незначний припуск на подальшу механічну обробку;

максимальна продуктивність;

мінімальна витрата вольфрамового електрода;

можливість ведення процесу на постійному струмі зворотної полярності підвищує якість і стабільність властивостей наплавленого шару за рахунок ефекту катодного очищення, який проявляється у видаленні оксидних і адсорбованих плівок і поліпшенні змочування рідким металом оброблюваної поверхні, більш низького тепло вкладення в порівнянні з наплавленням на струмі прямої полярності і, як наслідок, відсутність або мінімальне розплавлення підкладки;

при плазово-дуговому наплавленні порошковими матеріалами отримання наплавленого металу практично будь-якого типу з відносно невеликою номенклатури вихідних порошків (шляхом їх змішування), точно задана глибина проплавлення і товщина покриття, висока рівномірність по товщині шару, можливість забезпечення необхідного складу, структури і властивостей вже в першому шарі металу наплавлення, Ріс і залишкові напруження і деформації, відсутність розбавлення наплавленого покриття основним металом;

імпульсне плазово-дугове наплавлення дозволяє забезпечити точне регулювання геометрії наплавленого валика, отримати мінімальну ширину валика, здійснювати наплавлення на вузькі кромки виробів без їх перегріву, оплавлення кутів і розплавлення основного металу;

можливість процесу наплавлення деталей різних розмірів;

високий рівень механізації та автоматизації технологічного процесу.

Економічна ефективність плазово-дугового наплавлення визначається:

підвищенням надійності і довговічності і використовуваної продукції мінімум у два рази;

скороченням витрат на виготовлення запасних частин;
 економією металу, витраченого на виготовлення запасних частин;
 вивільненням працівників, зайнятих на виготовленні запасних частин і відновленні деталей;
 збільшенням випуску продукції на існуючому обладнанні, в слідстві збереження простоїв для заміни зношених деталей і аварійних ремонтів обладнання.

Таблиця 1.4

Спосіб наплавлення	Продуктив ність, кг/год	Частка основного металу, %	Товщина наплавлен ня, мм
Дугове наплавлення покритим електродом	0,8-3	20-50	2,0-5,0
Дугове наплавлення в захисних газах не плавким електродом	1,0-7,0	10-30	2,5-5,0
Дугове наплавлення в захисних газах плавким електродом	1,5-9,0	30-60	3,0-5,0
Лазерне наплавлення	1,0-2,0	0,1-15	0,1-3,0
Електрошлакове наплавлення дротом	20-60	5-10	15,0-50

Плазмове-дугове наплавлення порошком	0,8-6,0	5-15	0,3-6,0
---	---------	------	---------

Техніко-економічні характеристики видів наплавлення

ВИСНОВКИ

Провівши літературний огляд було виявлено, що самим найперспективнішим методом наплавлення беручи економічні показники визначено плазмовий метод, але він не дає такого діапазону товщин нанесеного покриття. Технологія яка дає найбільший за товщиною шар нанесеного матеріалу є електрошлакове наплавлення, але дана технологія має невисокий ступінь автоматизації, що збільшує фінансові витрати на відновлення.

2. ЛАЗЕРНО-ЛИВАРНІ МЕТОДИ ВИГОТОВЛЕННЯ БІМЕТАЛІВ [15]

В основу даного методу полягає використання лазерної енергії, що дозволяє проводити обробку на визначеній ділянці. За допомогою лазерної енергії підігрівається підкладка на яку в свою чергу заливають розплавлений матеріал покриття.

2.1. ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ РЕАЛІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА БІМЕТАЛІВ ЛАЗЕРНО-ЛИВАРНИМ МЕТОДОМ

Для теоретичної оцінки можливості реалізації лазерно-ливарної технології виробництва біметалів розроблена схематична постановка задачі, представлена на Рис. 2.1 [14, 15],.

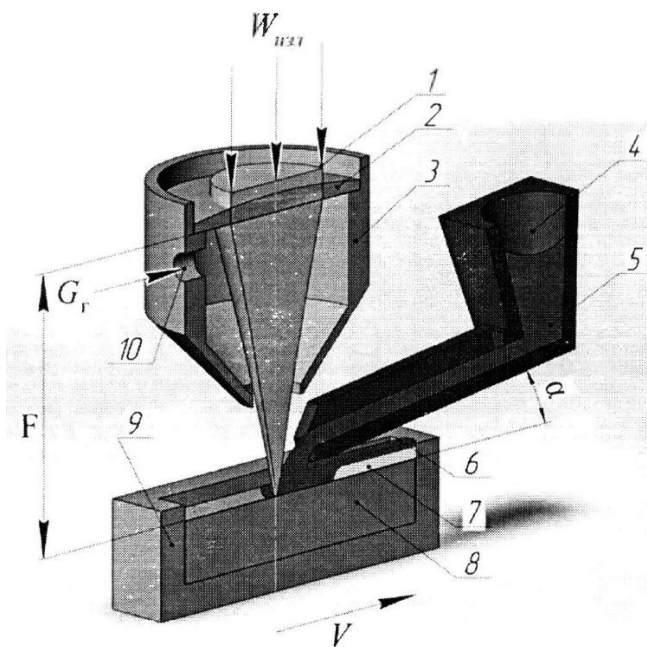


Рис. 2.1. Технологічна схема лазерно-ливарного методу виготовлення біметалів: 1 - лазерне випромінювання; 2 - лінза; 3 - сопло; 4 - лоток; 5 - розплав; 6 - поверхневий шар; 7 - твердий шар; 8 - заготовка; 9 - обмежувачі; 10 - захисний газ.

Рішення теплової задачі чисельними методами, що проведене спільно зі співробітниками Фізико-технологічного інституту металів і сплавів НАН України, дозволило встановити вплив густини потужності і швидкості руху лазерного

променя на глибину і довжину ванни розплаву.

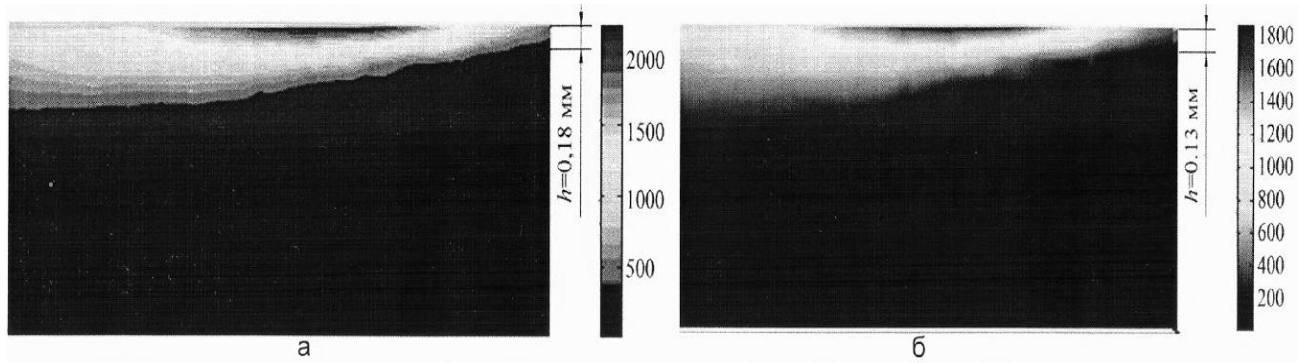
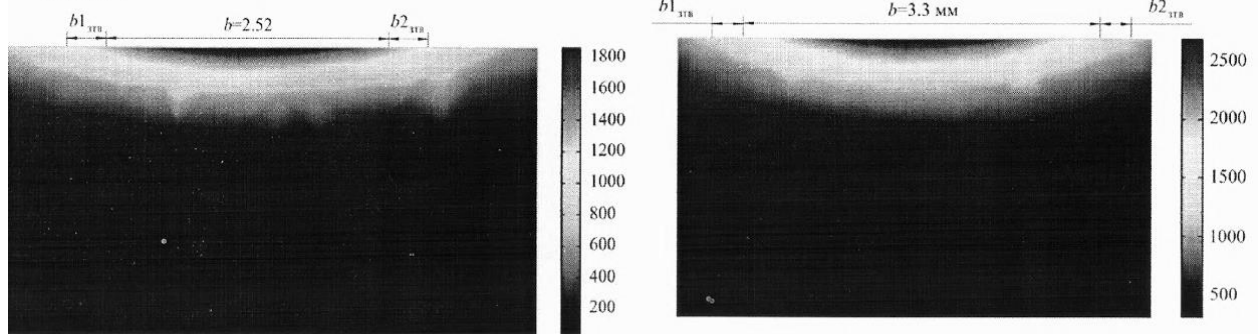


Рис. 2.1.1. Глибина ванни розплаву при густині потужності $W_p = 5,4 \cdot 10^8 \text{ Вт/м}^2$ (а) і $W_p = 4,6 \cdot 10^8 \text{ Вт/м}^2$ (б) для швидкості руху лазерного променя $V = 0,7 \text{ м / с}$.

При цьому розподіл температури в поперечній площині зразка біметала при діаметрі плями фокусування $d_0 = 2,0 \text{ мм}$ і густини потужності $W_p = 5,4 \cdot 10^8 \text{ Вт/м}^2$ має вигляд:

Распределение температуры T [°C] в поперечной плоскости при разных скоростях движения лазерного луча: а-0.3 м/с и б-0.6 м/с . Плотность мощности $4.2 \cdot 10^8$ Вт/м².



Распределение температуры T [°C] в поперечной плоскости при разных диаметрах пятна фокусировки: а- 3 мм и б- 2 мм. Плотность мощности $5,8 \cdot 10^8$ Вт/м².

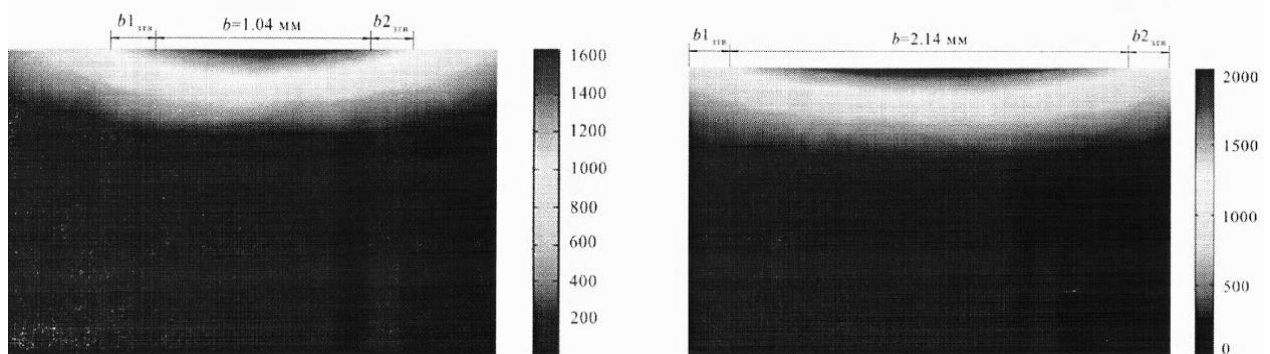
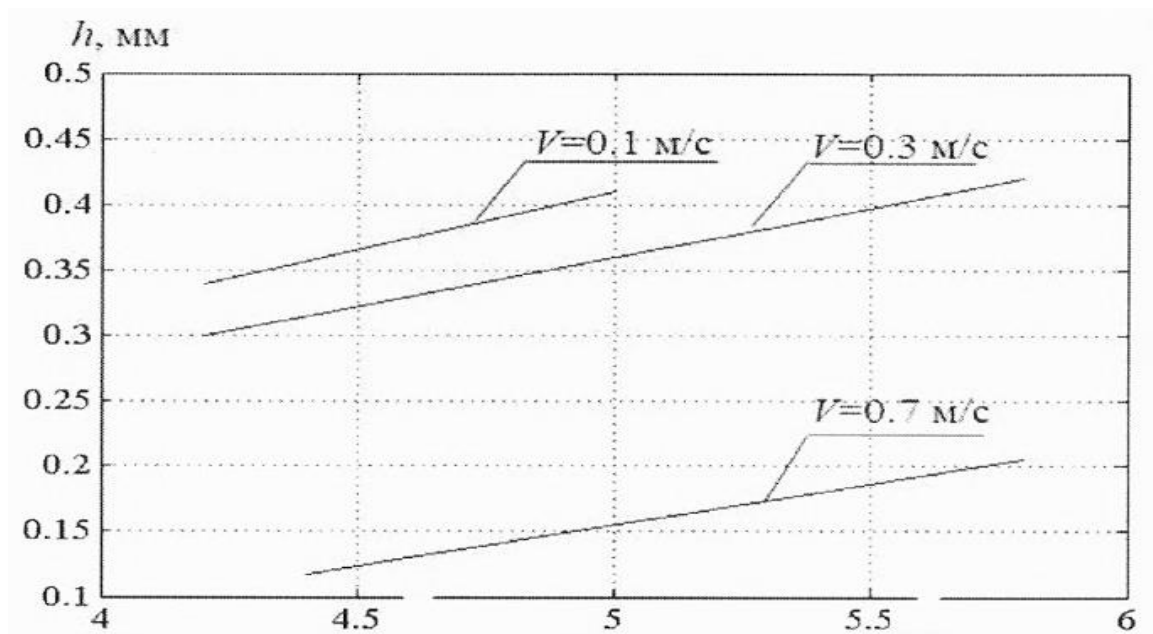


Рис.2.1.2. Розподіл температури в поперечній площині зразка біметала.

З огляду на те, що при фокусуванні в пляма діаметром 2,0 мм нам необхідно забезпечити густину потужності ($W_p = 5,4 \cdot 10^8$ Вт/м²), що дозволяє утримувати ширину розплаву в зазначених межах, то необхідна потужність лазерного випромінювання повинна становити не менше 2 кВт.

Разом з тим, отримані залежності глибини і довжини ванни розплавлення від густини потужності при різних швидкостях руху лазерного джерела, а також температурні залежності в зразку при впливі рухомого лазерного променя.



$W_p = 10^8 \text{ Вт/м}^2$

Рис. 2.1.3. Залежність глибини ванни розплаву від густини потужності при різних швидкостях руху лазерного джерела.

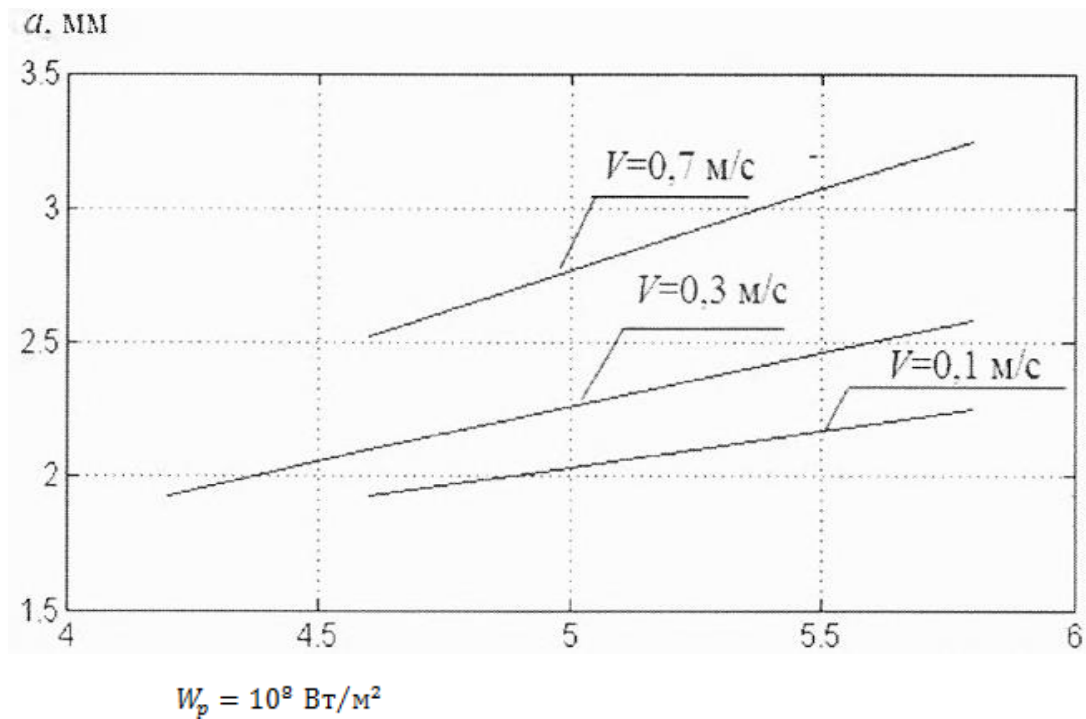


Рис. 2.1.4. Залежність ефективної довжини ванни розплаву від густини потужності при різних швидкостях руху лазерного джерела.

Розподіл температури по глибині зразка в точці нагріву в момент часу 0,1с при густині потужності $W_p = 5,4 \cdot 10^8$ Вт/м² (1) і $W_p = 4,6 \cdot 10^8$ Вт/м² (2).

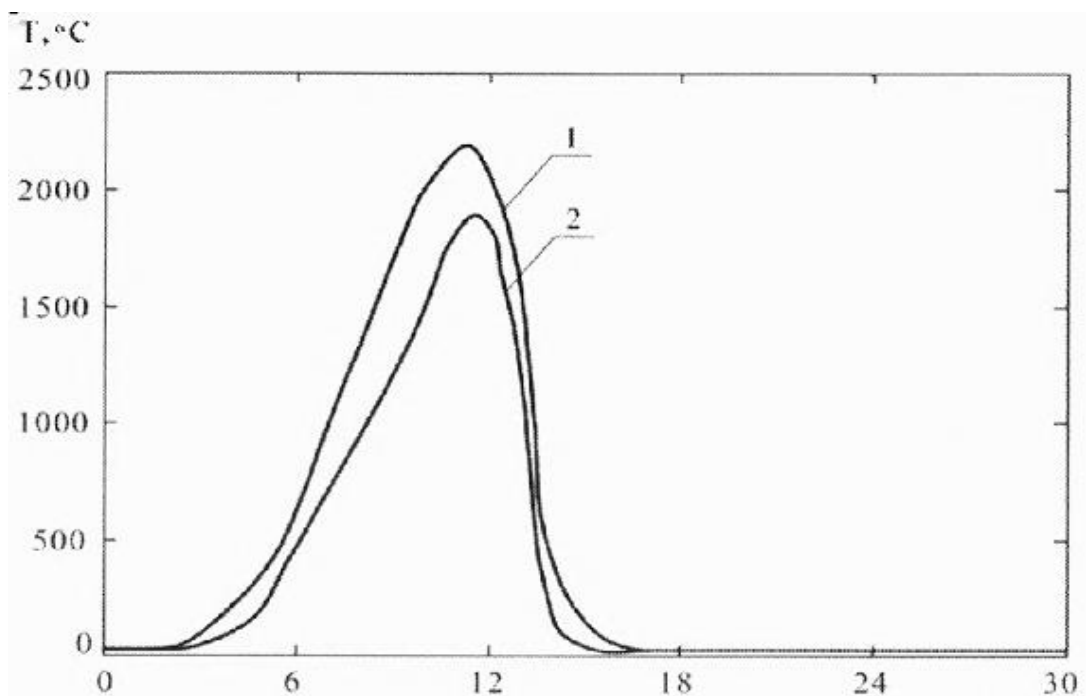


Рис. 2.1.5. Фронт змін температури зразка вздовж руху джерела в момент часу 0,1с при густині потужності

$W_p = 5,4 \cdot 10^8$ Вт/м² (1) і $W_p = 4,6 \cdot 10^8$ Вт/м² (2).

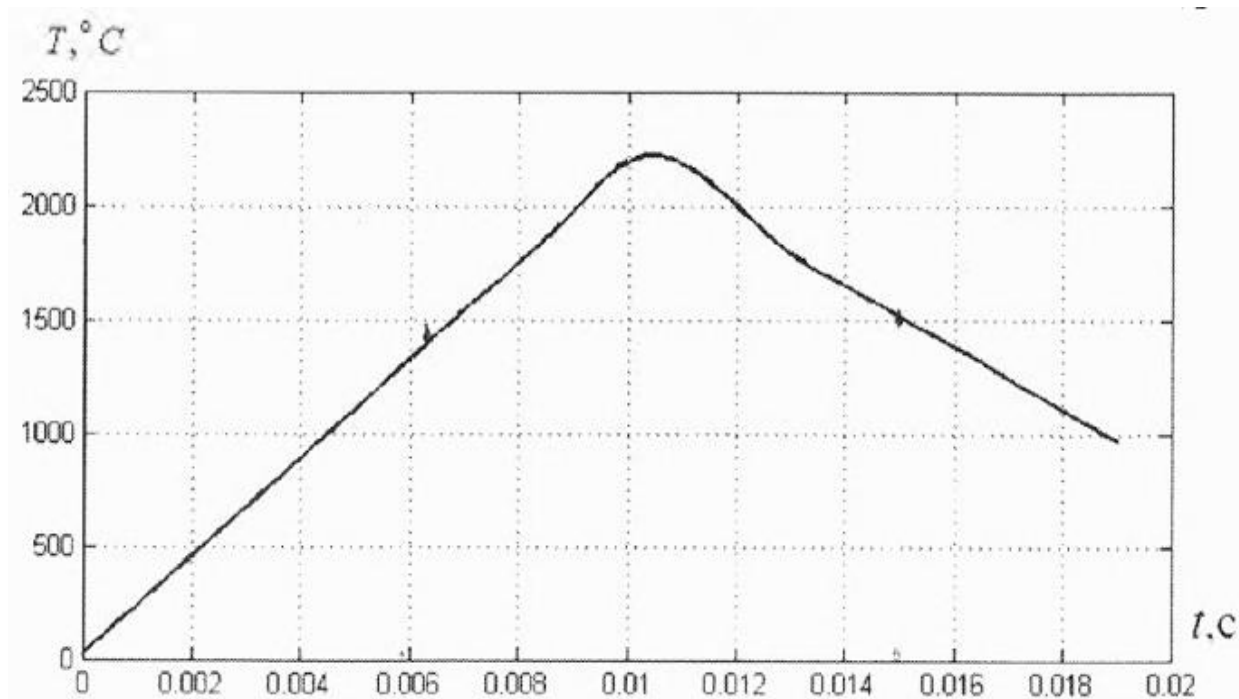


Рис. 2.1.6. Зміна температури в часі в точці $X = 10,5$ мм при густині потужності $W_p = 5,4 \cdot 10^8$ Вт/м² і швидкості руху лазерного променя $V = 0,7$ м/с.

Наведені залежності вказують на можливість отримання перехідної литий зони біметала за час дії лазерного випромінювання на зазначених режимах опромінення.

Як показали спостереження за зоною заливки основного металу (підкладки) розплавленим металом (плакуючим шаром), швидкість поширення розплаву по поверхні металу основи значно нижче зазначених в експериментах швидкостей плавлення підкладки. Так, швидкість поширення розплаву може становити лише 0,03 ... 0,1 м/с в залежності від типу розплаву і його температури, тоді як оптиРисьна швидкість плавлення на обраних режимах становить 0,7 м/с.

Тому може бути розроблена схема заливки біметала при одночасному плавленні його основи лазерним випромінюванням, коли лазерний промінь одночасно сканується в поперечному напрямку зі швидкістю, що забезпечує плавлення підкладки, тобто зі швидкістю $V_{ск.} = 0,7$ м/с, з рухом в напрямку заливки плакуючого шару зі швидкістю руху розплаву, тобто зі швидкістю $V_{роз.} = 0,03 \dots 0,1$ м/с.

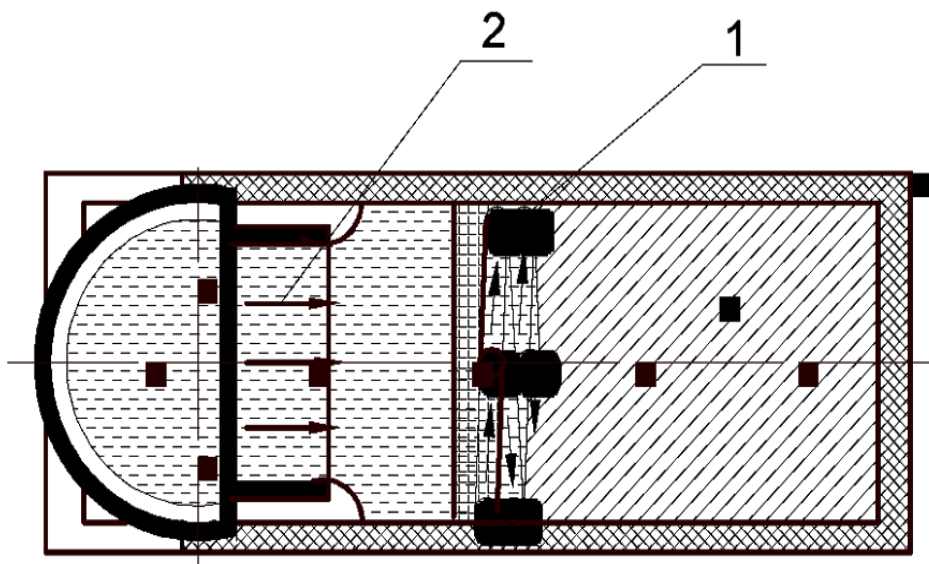


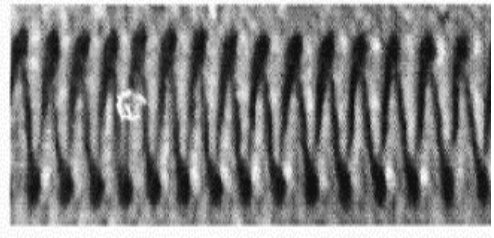
Рис. 2.1.7. Схема заливки біметала при одночасному плавленні його основи в поперечному напрямку скануючи лазерним випромінюванням і вільним пливом плакуючого розплаву:

1 – скануюче лазерне випромінювання; 2 – вільне витікання розплаву для утворення плакуючого шару біметала.

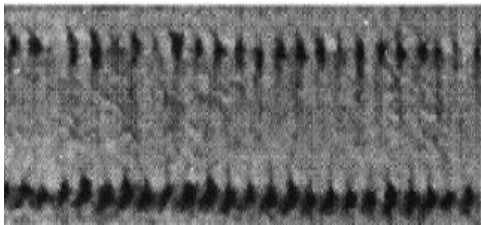
Залежно від співвідношення швидкостей $V_{ск.}$ і $V_{роз.}$ Можливі такі умови обробки:



$$V_{ск.} = 2 \cdot V_{роз.}$$



$$V_{ск.} = 3,5 \cdot V_{роз.}$$



$$V_{ск.} = 5 \cdot V_{роз.}$$



$$V_{ск.} = 7 \cdot V_{роз.}$$

Рис. 2.1.8. Реалізація умов плавлення основи біметала при різних співвідношеннях швидкостей сканування лазерного променя і заливки розплаву.

Так, при обраній швидкості лазерного опромінення скануючим променем і швидкості вільної течії розплаву для утворення плакуючого шару біметала ширина зони сканування, а, отже, і ширина одержуваного біметала може становити до 150 мм, що цілком прийнятне для виробництва біметалевих пластин. При зростанні потужності використаного лазерного обладнання відповідно можуть зростати і розміри одержуваних пластин біметала.

Крім того, теоретичний аналіз показує, що, крім усього іншого, необхідна розробка таких конструктивних рішень, при яких забезпечувалося б стійке співвідношення $V_{ск.}$ і $V_{роз.}$, Тобто необхідне сполучення швидкостей заливки і плавлення основи при виробництві біметалів лазерно-ливарним методом. Це дозволить отримати біметали з надійним зчепленням його шарів, що гарантує працездатність біметала в процесі всього терміну його експлуатації.

2.2.ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЛАЗЕРНО-ЛИВАРНОГО ВИГОТОВЛЕННЯ БІМЕТАЛІВ

Одним з відомих пристроїв для отримання біметалів є система отримання біметалічного зливка зі зносостійким поверхневим шаром методом ливарного плакування, яке включає засіб для подання розплавленого металічного матеріалу одного складу (наприклад, чавуну) у виливницю, в якій встановлена плита із металічного матеріалу іншого складу (наприклад, сталі 10 або 20) [16]. Цей винахід дозволяє отримувати на біметалі корозійностійкий шар потрібної товщини, проте при отриманні біметалічного зливка не досягається високий рівень міцності зчеплення шарів і висока вірогідність виникнення відшаровування отриманого шару в процесі подальшого використання.

Відомий пристрій для лазерно-ливарного виготовлення біметалів, що включає виливницю, в якій встановлена основа (плита із металічного матеріалу одного складу), засіб для подання у виливницю розплавленого металічного матеріалу іншого складу та сконцентрований лазерний промінь для нагрівання основи до температури плавлення. Завдяки плавленню основи концентрованим лазерним променем, порівняно з аналогом, досягається високий рівень міцності зчеплення шарів біметалу: основи та плакувального шару, що наплавляється. Проте цей пристрій має той недолік, що при використанні лазерного випромінювання середньої потужності (до 1 кВт) край розплаву плакувального матеріалу переміщується по поверхні основи швидше, ніж переміщується сконцентрований лазерний промінь, якому потрібно встигнути розплавити основу і отримати локальну ванну розплаву потрібної глибини (наприклад, до 0,5 мм). Бо якщо лазерний промінь уподовж виливниці переміщується повільніше, ніж плакувальний розплав, то настає момент, коли промінь повністю потрапляє на плакувальний розплав та не в змозі попасти на основу і створити в ній ванну розплаву. У такому випадку взагалі не можливо отримати біметал з надійним зчепленням його шарів. Тому потрібно строго дозувати кількість плакувального розплаву, що подається в зону наплавлення, щоб синхронізувати названі вище швидкості.

В основу представленого пристрою покладено задачу зниження собівартості процесу лазерно-ливарного виготовлення біметалів та підвищення якості цього процесу в результаті постійного підтримування краю розплаву плакувального матеріалу на заданій відстані від сконцентрованого лазерного променя та забезпечення строгого дозування кількості плакувального розплаву, що подається в зону наплавлення, для отримання надійного змішування двох розплавів металів (плакувального та основи), що забезпечує високий рівень міцності зчеплення шарів і низьку вірогідність відокремлення плакувального шару в процесі подальшого використання біметалу.

Поставлена задача вирішується тим, що в пристрої для лазерно-ливарного виготовлення біметалів, що містить виливницю, в якій встановлена основа (плита із металічного матеріалу одного складу), засіб для подання розплавленого металічного матеріалу іншого складу (плакувального металу), який включає в себе лоток з розплавом і жолоб для рівномірного нанесення на основу плакувального шару та сопло для подачі сконцентрованого лазерного променя для нагрівання основи до температури плавлення разом з захисним газом, згідно з пропонованою корисною моделлю новим є те, що газолазерне сопло забезпечене заслінкою, яка дозує кількості плакувального розплаву, що подається в зону наплавлення за рахунок встановленого проміжку між заслінкою та основою, причому величина перерізу цього проміжку повинна бути рівною величині перерізу жолоба для подачі плакувального розплаву. Це синхронізує швидкість руху плакувального матеріалу і локальної ванни розплаву, що створюється лазерним променем в основі, та забезпечує потрібне дозування кількості плакувального розплаву для створення перехідного шару, щоб гарантувати надійне зчеплення основи з плакувальним шаром в біметалі [16].

Сутність розробленого пристрою пояснюється кресленням, на якому на Рис. 2.2.1 зображений пристрій для лазерно-ливарного виготовлення біметалів з високою міцністю зчеплення його шарів.

Пристрій для лазерно-ливарного виготовлення біметалів містить газолазерне сопло 1 для подачі сконцентрованого лазерного променя 2 та захисного газу 3

(наприклад, аргону) в зону обробки. Пристрій забезпечений також засобом для подання розплавленого металічного матеріалу, який включає в себе лоток 4 з розплавом та жолоб 5 для рівномірного нанесення на основу 6 плакувального шару 7 для отримання біметалу. Перед заливкою рідким плакувальним металом 7 основа 6 встановлюється в виливницю 8. За рахунок лазерного променя 2 в середовищі захисного газу 3 в основі 6 утворюється локальна ванна 9 розплаву основи. При подальшому змішуванні в цій ванні рідкого металу основи та плакувального металу за рахунок вільної теплової конвекції створюється перехідний шар 10, який забезпечує надійне зчеплення шарів біметалу. Для забезпечення створення локальної ванни 9 розплаву основи по всій її ширині сконцентрованому лазерному випромінюванню 2 може завдаватися скануючий рух 11. Вільному розтіканню плакувального металу 7 по основі 6 перешкоджає заслінка 12, виконана із термостійкого матеріалу, наприклад, графіту. Синхронізація швидкості руху 13 заслінки 12 упродовж виливниці 8 з швидкістю руху лазерного променя 2 забезпечується конструктивно тим, що засіб для подання плакувального металу розміщений на рухомій упродовж виливниці 8 каретці 14 лазерного обладнання разом з газолазерним соплом 1. Проміжок між заслінкою 12 та основою 6 висотою (Рис. 2.2.1) забезпечує потрібне дозування кількості плакувального розплаву, що необхідно для створення перехідного шару 10 для надійного зчеплення основи з плакувальним шаром. Для стабілізації в процесі обробки потрібної кількості металу за заслінкою 12 висоту жолоба 5 підбирають із розрахунку, щоб величина перерізу цього жолоба була рівною величині перерізу проміжку між заслінкою та основою. Для забезпечення потрібної висоти плакувального шару біметалу на лотку 4 може бути розміщений шкребок 15.

Пристрій для лазерно-ливарного виготовлення біметалів працює в такий спосіб.

Спочатку основа 6 для виготовлення біметалу встановлюється в виливницю 8, яка по формі, як правило, подібна формі основи 6. За допомогою фокуруючого елемента, що входить до складу газолазерного сопла 1, лазерний промінь 2 концентрується на поверхні основи 6 так, щоб цієї концентрації було достатньо

для розплавлення її поверхні і утворення локальної ванни 9 розплаву. Завдяки захисному газу 3 (наприклад, аргону), що може подаватися, наприклад, сосно лазерному променю ця ванна захищається від окислення. За допомогою засобу для подання розплавленого металічного матеріалу, який включає в себе лоток 4 з розплавом та жолоб 5, на поверхню основи 6 виливається інший потрібний металічний матеріал, дякуючи якому створюється плакувальний шар 7 біметалу. Плакувальний матеріал заливається на основу у безпосередній близькості від локальної ванни 9, так що ця ванна не встигає кристалізуватися, і, завдяки вільній тепловій конвекції та перемішуванню плакувального металу та розплаву основи, створюється перехідний сплав 10, який забезпечує високий рівень міцності зчеплення основних шарів біметалу. В залежності від потужності лазерного випромінювання може бути виготовлений біметал різної ширини. Для забезпечення обробки по всій ширині основи 6 лазерному випромінюванню 2 може завдаватися скануючий рух 11.

Швидкість течії плакувального матеріалу по поверхні основи залежить як від природи самого матеріалу, так і інших чинників. Разом з тим, для плавлення основи та створення локальної ванни розплаву цілком достатньо використовувати лазерне випромінювання невисокої потужності (до 1 кВт). Враховуючи, що вартість лазерного обладнання по експоненціальному закону зростає в залежності від його потужності, то такий підхід набагато економічно вигідніший. Проте швидкість переміщення лазерного променю уподовж виливниці при цьому значно знижується і, як правило, набагато нижча швидкості течії плакувального матеріалу по поверхні основи. Для обмеження швидкості течії розплаву та її синхронізації зі швидкістю переміщення лазерного променю уподовж виливниці використовується заслінка 12, яка розміщується на газо-лазерному соплі 1. Разом з тим, між заслінкою 12 та основою 6 залишають проміжок висотою , що забезпечує потрібне дозування кількості плакувального розплаву, який необхідний для створення перехідного шару 10 для надійного зчеплення основи з плакувальним шаром. Оптичне значення величини проміжку залежить від природи плакувального металу і може бути встановлене експериментально.

При цьому на початку обробки плакувальний матеріал накопичується біля заслінки 12, створюючи шар рідкого металу висотою декілька більшою, ніж необхідна висота плакувального шару. Після цього подається лазерне випромінювання 2, якому придається скануючий рух 11 та рух 13 уподовж виливниці 8. При утворенні локальної ванни в основі 6 розігріваються також нижні шари плакувального металу біля заслінки 12, підвищується їх рідкотекучість, і метал починає витікати з під заслінки 12 та перемішуватися з металом локальної ванни 9, утворюючи перехідний шар 10. Для стабілізації такого процесу під час обробки потрібне постійне підживлення кількості матеріалу за заслінкою 12 з лотка 4 через жолоб 5. А щоб виключити можливість зміни цієї кількості, висота жолоба 5 вибирається із міркування, що величина перерізу цього жолоба повинна бути рівною величині перерізу проміжку між заслінкою та основою. Щоб забезпечити потрібну висоту та рівномірність плакувального шару біметалу, може бути використаний шкребок 15, який можна розмістити, наприклад, на лотку 12.

Таким чином, пропонований пристрій для лазерно-ливарного виготовлення біметалів істотно розширює можливості свого застосування за рахунок зниження собівартості використовуваного лазерного устаткування та підвищення якості процесу в результаті забезпечення високого рівня міцності зчеплення шарів біметалу, що гарантує низьку вірогідність відокремлення плакувального шару в процесі подальшого використання біметалу.

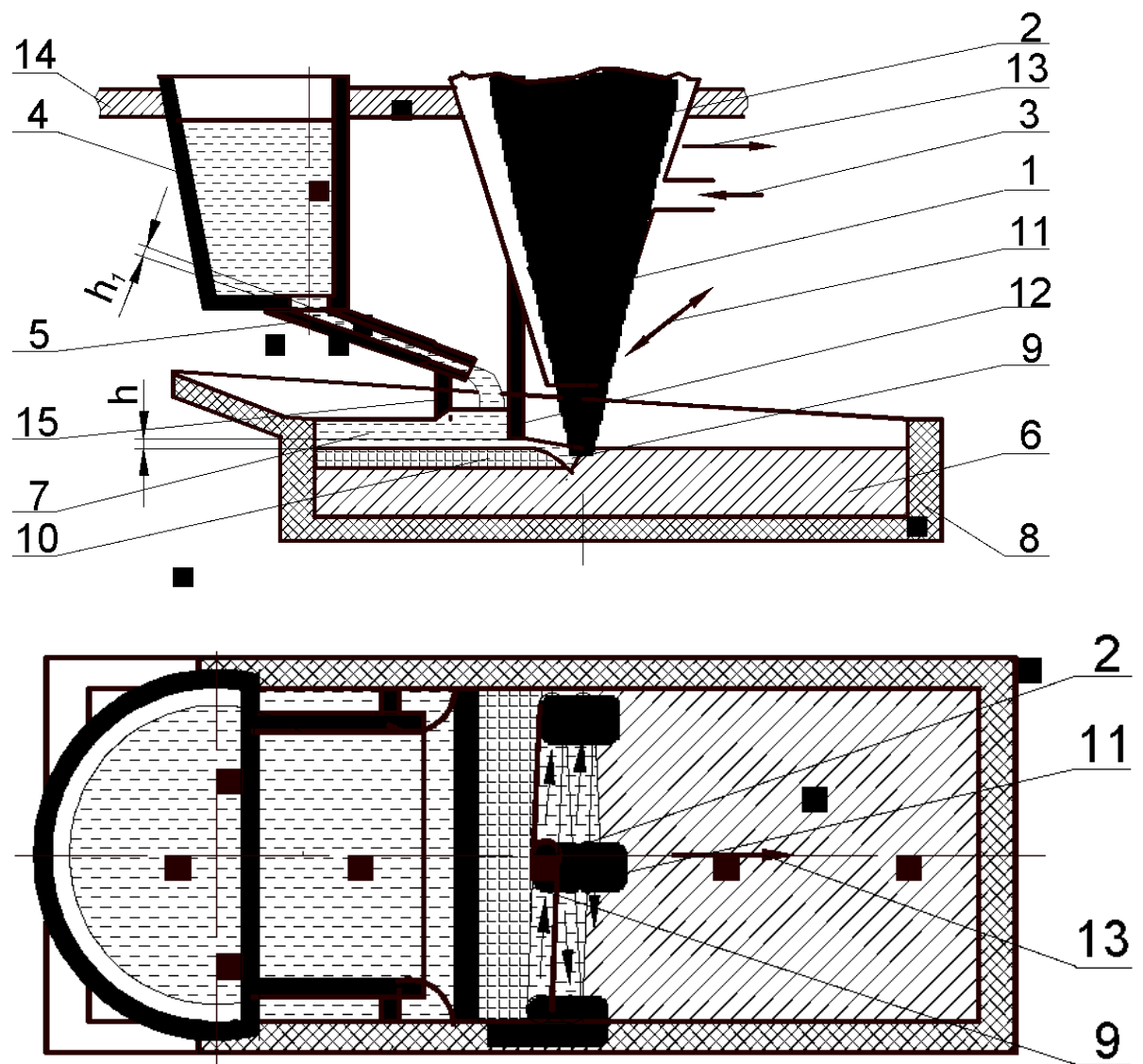


Рис. 2.2.1. Пристрій для лазерно-ливарного виготовлення біметалів

2.3. АВТОМАТИЗОВАНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЛАЗЕРНО-ЛИВАРНОГО ВИГОТОВЛЕННЯ БІМЕТАЛІВ

В основу створення автоматизованого пристрою покладено задачу в автоматизованому режимі постійно підтримувати сконцентрований лазерний промінь на заданій відстані від краю розплаву плакувального матеріалу для отримання надійного змішування двох розплавів металів (плакувального та основи), що забезпечує високий рівень міцності зчеплення шарів і низьку вірогідність відокремлення плакувального шару в процесі подальшого використання біметалу [17].

Поставлена задача вирішується тим, що в пристрої для лазерно-ливарного виготовлення біметалів, що містить виливницю, в якій встановлена основа (плита із металічного матеріалу одного складу), засіб для подання розплавленого металічного матеріалу іншого складу і його нанесення на основу (для створення біметалу) та сопло для подачі сконцентрованого лазерного променя для нагрівання основи до температури плавлення разом з захисним газовим потоком, згідно з пропонованою корисною моделлю новим є те, що газо-лазерне сопло забезпечене ємнісним датчиком, який контролює відстань від краю розплаву плакувального металу до локальної ванни, створеної лазерним променем. Інформація про зміну цієї відстані поступає на комп'ютер, який коректує швидкість переміщення лазерного променя. Це забезпечує в автоматизованому режимі постійне підтримування лазерного променя на заданій відстані від краю розплаву плакувального матеріалу.

Сутність розробленого пристрою пояснюється кресленням, на якому на Рис.2.3.1 зображений пристрій для автоматизованого лазерно-ливарного виготовлення біметалів з високою міцністю зчеплення його шарів.

Автоматизований пристрій для лазерно-ливарного виготовлення біметалів містить газо-лазерне сопло 1 для подачі сконцентрованого лазерного променя 2 та захисного газу 3 (наприклад, аргону) в зону обробки. Пристрій забезпечений також засобом для подання розплавленого металічного матеріалу, який включає в себе лоток 4 з розплавом та жолоб 5 для рівномірного нанесення на основу 6

плакувального шару 7 для отримання біметалу. Перед заливкою рідким плакувальним металом 7 основа 6 встановлюється в виливницю 8. За рахунок лазерного променя 2 в середовищі захисного газу 3 в основі 6 утворюється локальна ванна 9 розплаву основи. При подальшому змішуванні в цій ванні рідкого металу основи та плакувального металу, що витікає із лотка 4 через жолоб 5, за рахунок вільної теплової конвекції створюється перехідний шар 10, який забезпечує надійне зчеплення основних шарів біметалу. Для забезпечення створення локальної ванни 9 розплаву основи по всій її ширині сконцентованому лазерному випромінюванню 2 може задаватися скануючий рух 11. Для контролю положення краю розплаву плакувального металу по відношенню до лазерного променя 2 газо-лазерне сопло 1 забезпечене ємнісним датчиком 12, який за допомогою комп'ютера 13 контролює та змінює швидкість руху 14 сконцентованого лазерного променя 2 упродовж виливниці 8. Електростатичне поле 15, створене в проміжку між ємнісним датчиком 12 та основою 6, змінюється за рахунок частини рідкого плакувального металу 16, що потрапляє в поле дії поля 15. Засіб для подання розплавленого металу, що складається з лотка 4 та жолоба 5, може бути розміщеним як на одній рухомій упродовж виливниці каретці 17 лазерного обладнання разом з газо-лазерним соплом 1, так і окремо встановленим на нерухомій частині обладнання.

Автоматизований пристрій для лазерно-ливарного виготовлення біметалів працює в такий спосіб.

Спочатку основа 6 для виготовлення біметалу встановлюється в виливницю 8, яка по формі, як правило, подібна формі основи 6. За допомогою фокуруючого елемента, що входить до складу газо-лазерного сопла 1, лазерний промінь 2 концентрується на поверхні основи 6 так, щоб цієї концентрації було достатньо для розплавлення її поверхні і утворення локальної ванни 9 розплаву. Завдяки захисному газу 3 (наприклад, аргону), що може подаватися, наприклад, сосно лазерному променю ця ванна захищається від окислення. Одночасно з початком подачі лазерного випромінювання на поверхню основи 6 виливається інший потрібний металічний матеріал, дякуючи якому створюється плакувальний шар 7

біметалу. Здійснюється це за допомогою засобу для подання цього матеріалу, який включає в себе лоток 4 з розплавом та жолоб 5. Плакувальний матеріал заливається на основу у безпосередній близькості до локальної ванни 9, так що ця ванна не встигає кристалізуватися, і, завдяки вільній тепловій конвекції та перемішуванню плакувального металу та розплаву основи, створюється перехідний сплав 10, який забезпечує високий рівень міцності зчеплення основних шарів біметалу. В залежності від потужності лазерного випромінювання може бути виготовлений біметал різної ширини. Для забезпечення обробки по всій ширині основи 6 лазерному випромінюванню 2 може завдаватися скануючий рух 11.

Швидкість течії плакувального матеріалу по поверхні основи залежить як від природи самого матеріалу, так і інших чинників. Крім того, ця швидкість може змінюватися безпосередньо в процесі заливки. Тому для забезпечення постійної відстані між краєм плакувального металу, що тече, та локальною ванною, розплавленою лазерним променем в основі, потрібно постійно контролювати та, при потребі, змінювати швидкість руху 14 лазерного променю 2 упродовж виливниці 8. Для реалізації такого контролю на кінці газо-лазерного сопла 1 розміщується ємнісний датчик 12, який створює електростатичне поле 15 в проміжку між самим датчиком 12 та основою 6. Кількість рідкого плакувального металу 16, що потрапляє під датчик 12, в поле дії його електростатичного поля 15, впливає на чутливість цього датчика. При цьому заздалегідь можна настроїти таку чутливість датчика 12, щоб кількість металу 16, що заходить в поле 15 його дії, забезпечувала потрібну відстань між краєм розплаву плакувального металу та локальною ванною, створеною лазерним променем. Інформація про чутливість датчика 12 подається на комп'ютером 13 та контролюється ним. Зміну чутливості датчика 12 в процесі заливки плакувального металу комп'ютер 13 відпрацьовує наступним чином: якщо кількість металу 16 зменшується, то комп'ютер також зменшує швидкість руху 14, і край плакувального металу знову наздоганяє край локальної ванни в основі. Та навпаки – при збільшенні кількості металу 16 швидкість руху 14 прискорюється, і локальна ванна віддаляється від краю

плакувального металу на потрібну відстань. При досягненні потрібної відстані між плакувальним шаром та локальною ванною в обох випадках швидкість руху 14 стабілізується. В такий спосіб забезпечується в автоматизованому режимі постійність відстані від краю розплаву плакувального металу до локальної ванни, створеної лазерним променем в основі, що і забезпечує стабілізацію процесу.

Таким чином, автоматизований пристрій для лазерно-ливарного виготовлення біметалів істотно розширює можливості свого застосування за рахунок підвищення якості процесу в результаті забезпечення високого рівня міцності зчеплення шарів біметалу, що гарантує низьку вірогідність відокремлення плакувального шару в процесі подальшого використання біметалу.

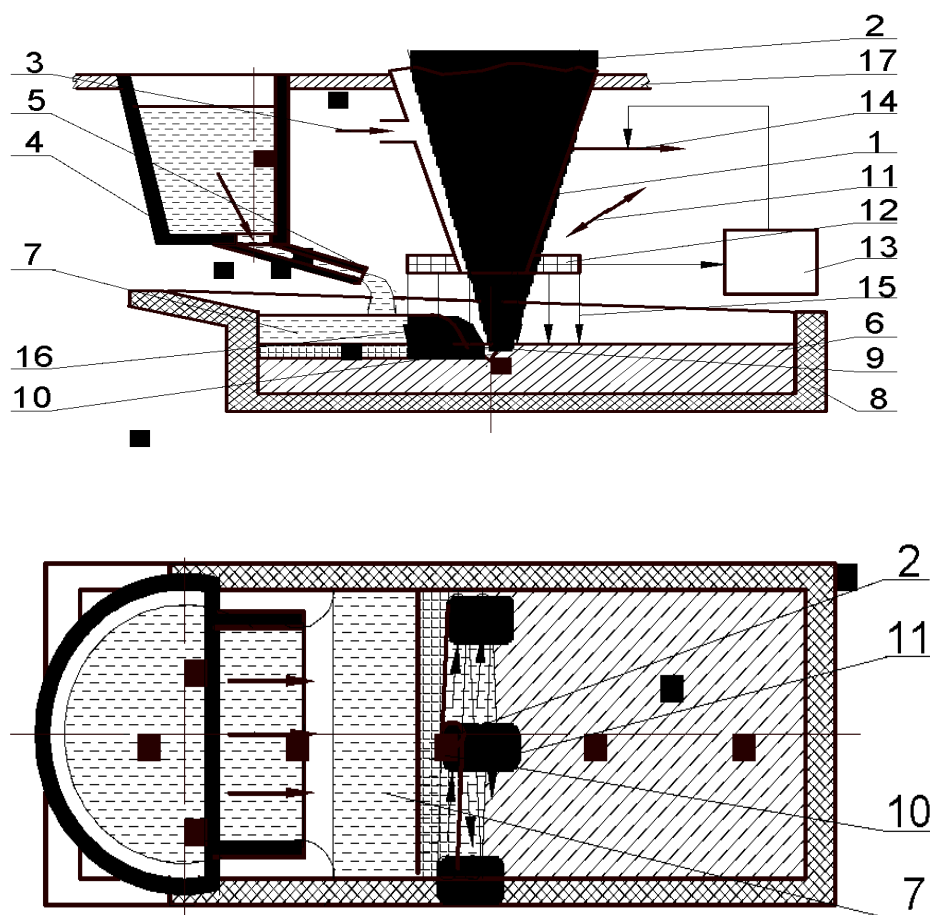


Рис. 2.3.1. Пристрій для автоматизованого лазерно-ливарного виготовлення біметалів

2.4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА АПРОБАЦІЯ МОЖЛИВОСТІ ОТРИМАННЯ БІМЕТАЛІВ ЛАЗЕРНО-ЛИВАРНИМ МЕТОДОМ

Були проведені пошукові експерименти по можливості виробництва біметалевих пар металів при використанні лазерного випромінювання для розплавлення поверхні металу-основи (підкладки) з утворенням перехідного шару для зчеплення цих металів [18]. В якості лазерного обладнання застосовувалася технологічна лазерна установка «Латус-31» з технологічними параметрами, представленими в табл. 2.1:

Табл. 2.4

Параметр	Позначення параметра	Значення параметра	Одиниця виміру
Потужність випромінювання	W	1000	Вт
Довжина хвилі випромінювання	λ	10,6	мкм
Фокусна відстань фокусуючої лінзи	F	200	мм
Діаметр плями в зоні опромінення	d0	0,8	мм
Густина потужності в зоні опромінення	Wp	$5 \cdot 10^8$	$Вт / м^2$

Технологічні параметри лазерного обладнання

В якості пар металів були підібрані матеріали, представлені в табл. 2.2:

Табл. 2.4.

Матеріал металу-основи (підкладки)	Матеріал заливного (плакуючого) шару
Ст.3	СЧ30
Ст.3	ЧХ16

Ст.3	Бр05Ц5С5
Ст.3	АК7
Бр05Ц5С5	АК7
Бр05Ц5С5	Бр05Ц5С5
АК7	АК7

Склад біметалевих пар

Нижче представлені біметалічні з'єднання при заливці металу-основи (підкладки) - сталь Ст.3, рідкими чавунами різного складу.



Рис. 2.4.1. Структура рідкофазного з'єднання Ст.3 - СЧ30.

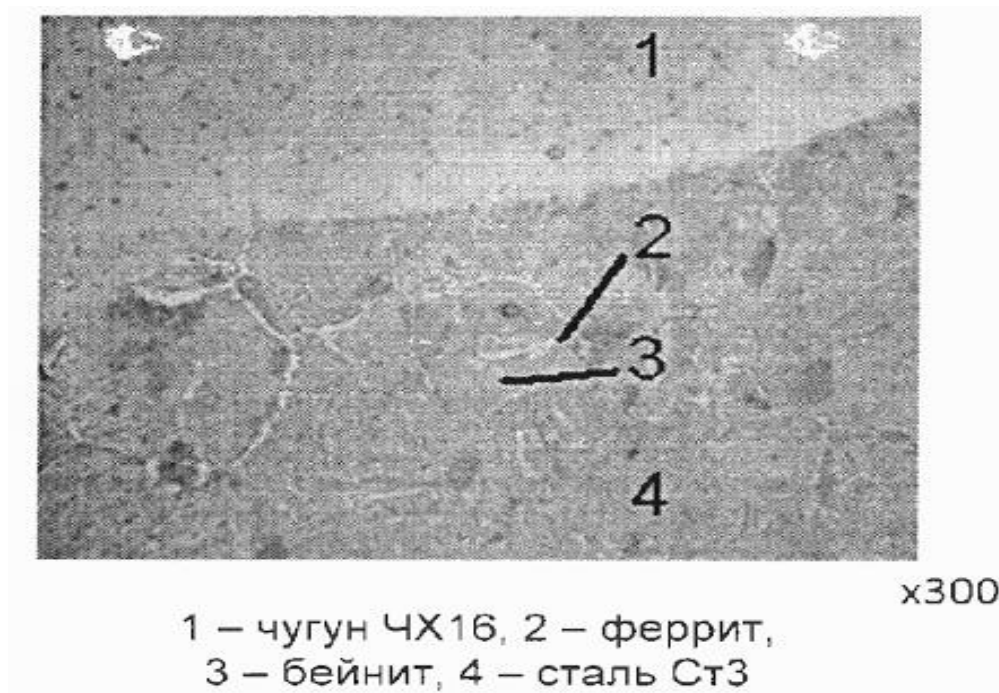


Рис. 2.4.2. Структура рідкофазного з'єднання Ст.3 - ЧХ16.

Лазерно-ливарні рідкофазні з'єднання перехідних шарів інших біметалевих пар представлені нижче на Рис.2.4.3 - Рис.2.4.6.

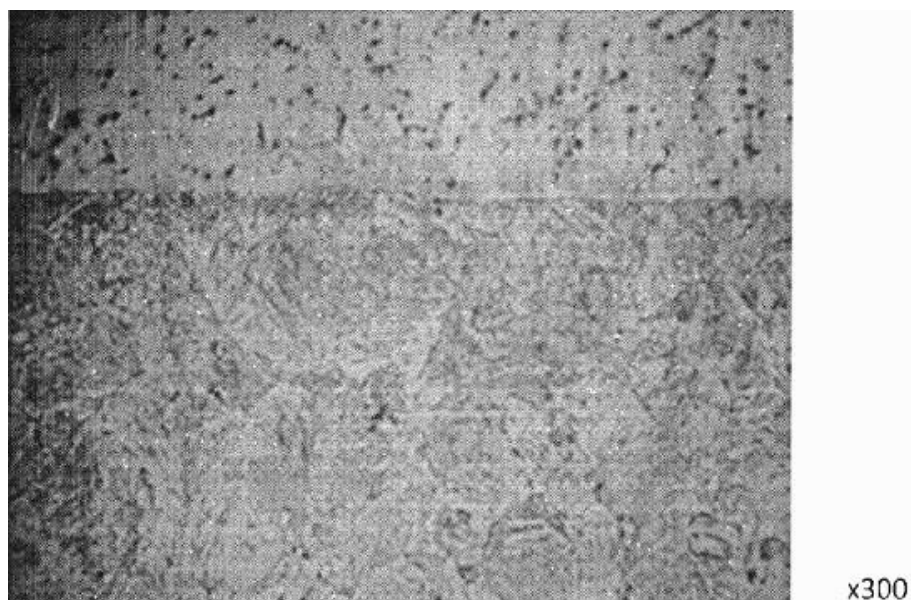


Рис. 2.4.3. Структура перехідних шарів біметалевої пари «сталь -бронза».



Рис. 2.4.4. Структура перехідних шарів біметалевої пари «сталь - алюмінієвий сплав».

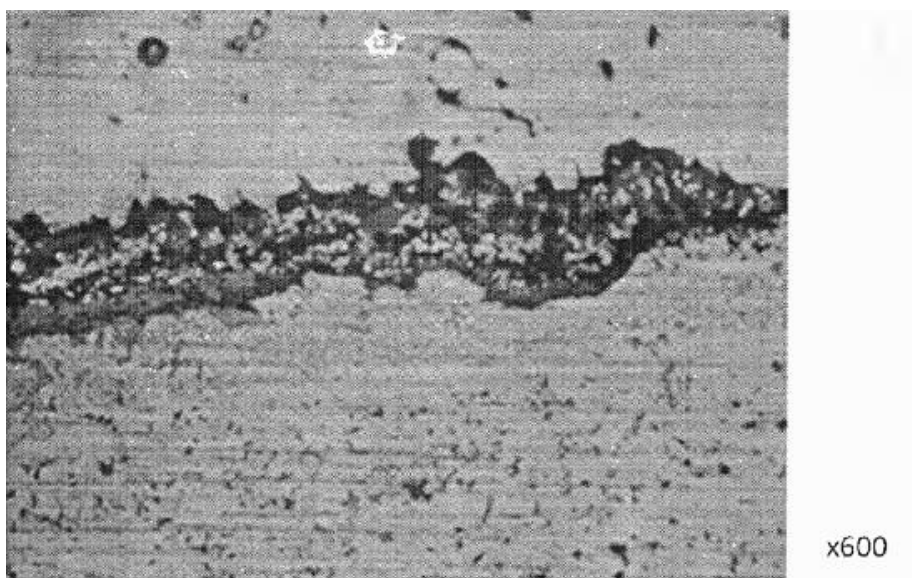


Рис. 2.4.5. Структура перехідних шарів біметалевої пари «бронза - бронза».

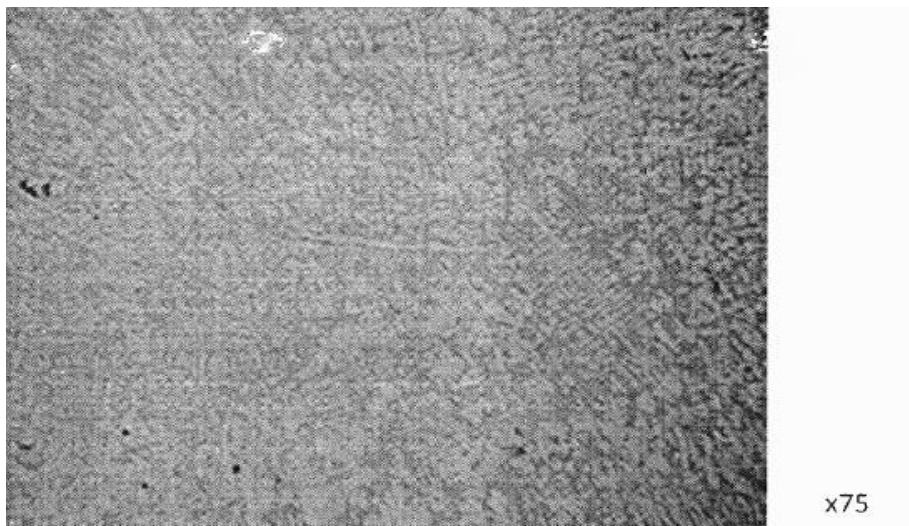


Рис. 2.4.6. Структура перехідних шарів біметалевої пари «алюмінієвий сплав - алюмінієвий сплав».

Експерименти показали, що товщина і структура перехідних шарів між різними біметалевими парами забезпечує надійне їх з'єднання.

Таким чином, лазерно-ливарний метод отримання біметалевих матеріалів цілком реалізовуємо технологічно і забезпечує надійне з'єднання між шарами матеріалів, що входять до складу різних біметалів, що дозволяє рекомендувати його для подальшої доробки і впровадження у виробництво біметалів.^{ix}

При цьому лазерно-ливарний метод не дає можливість отримувати великі розміри біметалічних матеріалів і тому є потреба у подальшому вдосконаленні способів отримання таких виробів.

3. ВДОСКОНАЛЕННЯ СПОСОБУ ВИГОТОВЛЕННЯ БІМЕТАЛІВ. СПОСІБ ВИГОТОВЛЕННЯ БІМЕТАЛІВ ПРИ З'ЄДНАННІ ЙОГО ПЛАСТИН ПОТУЖНИМ ДЖЕРЕЛОМ ЕНЕРГІЇ

В основі даного методу полягає використання потужного джерела енергії, яким може виступати лазерний промінь або електрична дуга і даний метод теж відноситься до лазерно-ливарних способів [19]. Теоретичний аналіз реалізації способу виготовлення біметалів при з'єднанні його пластин потужним джерелом енергії. В подальшому в роботі в якості потужного джерела енергії буде використовуватися електрична дуга. Плавкий електрод, підводять до пластин, що з'єднуються, та формують зварний шов за участю металу плавкого електроду . Цей спосіб відрізняється хорошою контрольованістю зварювального шва, Рисими капітальними витратами. Проте його застосування для виготовлення біметалів проблематичне із-за неможливості виконання з'єднання внутрішніх поверхонь пластин біметалу не по всій площі дотику.

Для отримання надійного з'єднання між пластинами біметалу використовують технологічні отвори у пластині основи у які вводять плавкий електрод , який внаслідок горіння дуги плавиться , утворюючи металургійний зв'язок між пластинами біметалу і поступово піднімаючи електрод повністю заправляє весь об'єм технологічного отвору , не залишаючи при цьому майже ніяких нерівностей на поверхні пластини основи які при необхідності можна обробити, для подальшої експлуатації біметалу в майбутньому.

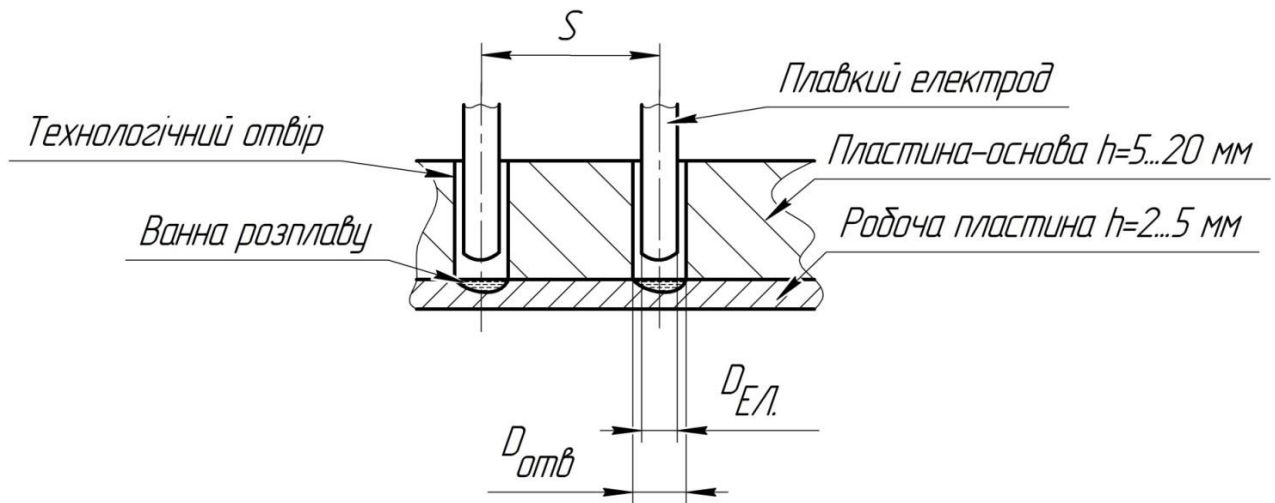


Рис. 4.1. Схема для способу виготовлення біметалів при з'єднанні його пластин потужним джерелом енергії.

Для кращого розуміння і опису варто сказати про основні параметри даного технологічного процесу:

S — крок технологічних отворів;

$D_{отв}$ — діаметр технологічного отвору;

$D_{ел}$ — діаметр електроду;

$T_{пов.}$ — температура поверхні розплаву;

$T_{меж.}$ — температура межі розплав-твердий метал;

Z_{max} — максимальна товщина ванни розплаву;

$Z_{опт}$ — оптимальна товщина ванни розплаву;

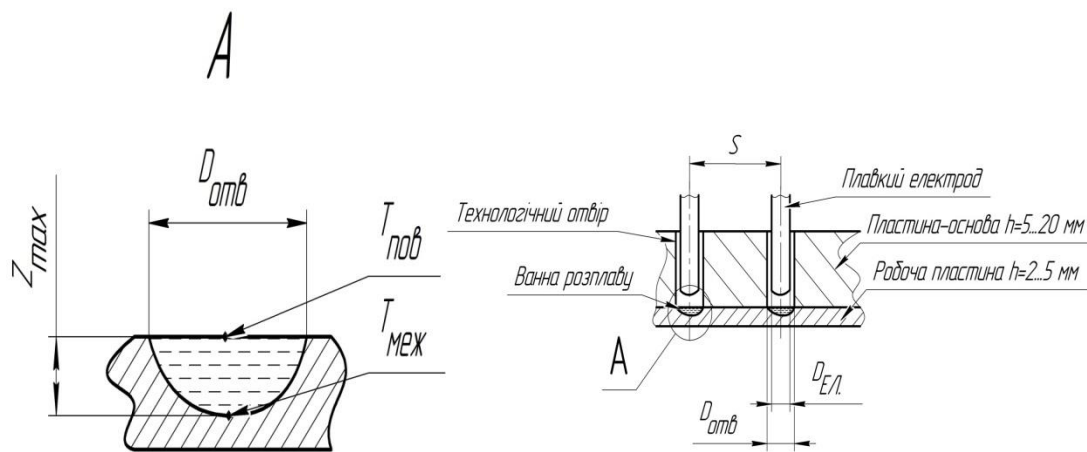


Рис 4.1.1. Параметри технологічного процесу отримання біметалу.

Для отримання біметалу беруть: $D_{отв} = 1,2 \dots 1,5 D_{отв}$. При цьому теоретичний розгляд на основі теорії теплопровідності можливостей з'єднання пластин біметалу дає можливість оцінити глибину проплавлення в робочій пластині. Таку величину Z_{max} можна знайти, враховуючи, що при стаціонарному режимі метал нагрівається круговим джерелом енергії діаметром D , рівним діаметру технологічного отвору, по формулі:

$$Z_{max} = \frac{D}{4} \left(\frac{T_{пов.}}{T_{пл.}} - \frac{T_{пл.}}{T_{пов.}} \right) \quad (1)$$

де $T_{пов.}$ - температура на поверхні нагріву джерелом енергії, $T_{пл.}$ - температура плавлення металу. При цьому: $T_{пов.} \approx 2500^{\circ} \dots 2800^{\circ} \text{C}$; $T_{пл.} \approx 1500^{\circ} \text{C}$. виявилось, що $Z_{max} = 2 \dots 3,5$ мм – що багато і це може призвести до наскрізного проплавлення робочої пластини, що погіршує експлуатаційні характеристики біметалу в майбутньому. Для задоволення експлуатаційних характеристик $Z_{опт} = 1 \dots 1,5$ мм. Для цього запропоновано декілька варіантів реалізації даного способу отримання біметалу

3.1. ВАРІАНТИ РЕАЛІЗАЦІЇ СПОСОБУ ВИГОТОВЛЕННЯ БІМЕТАЛУ ПРИ З'ЄДНАННІ ЙОГО ПЛАСТИН ПОТУЖНИМ ДЖЕРЕЛОМ ЕНЕРГІЇ [22]

Так наприклад, для отримання біметалів при з'єднанні його пластин потужним джерелом енергії, що включає формування зчеплення пластини основи та робочої пластини біметалу за рахунок ливарного процесу, який відрізняється тим, що в місцях з'єднання в пластині основи наскрізь свердлять технологічні отвори діаметром, що забезпечує підвід енергії до місця зчеплення пластин, та на краю цієї пластини, зі сторони контакту з робочою пластиною, поперек технологічних отворів вставляють штифти так, щоб вони міцно триматися в отворах, а енергію, що підводиться через технологічні отвори, спрямовують безпосередньо на штифти [20]. При використанні в якості джерела енергії електродугової сварки діаметр технологічного отвору підбирають декілька більшим діаметра зварювального електрода так, щоб останній вільно заходив в цей отвір. З іншої сторони, діаметр отвору не повинен бути дуже великим, щоб не надмірно витрачати електроди. Як правило, діаметр технологічного отвору на 50...75 % виконують більшим діаметра електрода. Кількість та спосіб розміщення технологічних отворів в пластині основи можуть бути обрані, виходячи із потреб міцності з'єднання пластин біметалу, що можна визначити експериментально. Встановлено, що оптимальний проміжок між центрами технологічних отворів складає 40...60 мм в центрі пластини. На краях пластини отвори краще розмістити як можна ближче до її країв (5...10 мм від краю пластини), щоб забезпечити мінімальні зазори на бокових поверхнях біметалу.

Відбувається утворення електричного розряду між електродом та перепорою чи вузькою частиною. В результаті плавлення електрода та перепони (чи вузької частини) розігрітий до високих температур рідкий метал стікає в напрямку поверхні робочої пластини. В результаті за рахунок ливарного процесу створюється ванна рідкого металу, яка частково підплавляє поверхню робочої пластини та бокових поверхонь технологічного отвору. Після заплавлення всього

технологічного отвору та затвердіння рідкого металу отримуємо шов зчеплення робочої пластини та пластини основи біметалу, який надійно скріплює ці пластини. Режими зварювання та товщину перепони чи вузької частини підбирають такими, щоб зі сторони внутрішньої поверхні робоча пластина розплавлялась не більше, ніж на половину своєї товщини. При цьому зовнішня поверхня цієї пластини не повинна псуватись. Можлива лише поява кольорів мінливості. В кінці бажано поверхню швів з'єднання прошліфувати урівень з поверхнею пластини основи. В якості потужного джерела енергії можливе також використання лазерного випромінювання. Подача випромінювання в місце контакту пластин біметалу при цьому буде здійснюватися через технологічні отвори в пластині основи, а концентруватися випромінювання буде на поверхні перепони чи вузької частини технологічного отвору.

3.1.1. СПОСІБ ВИГОТОВЛЕННЯ БІМЕТАЛІВ ПРИ З'ЄДНАННІ ЙОГО ПЛАСТИН ПОТУЖНИМ ДЖЕРЕЛОМ ЕНЕРГІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТИФТА

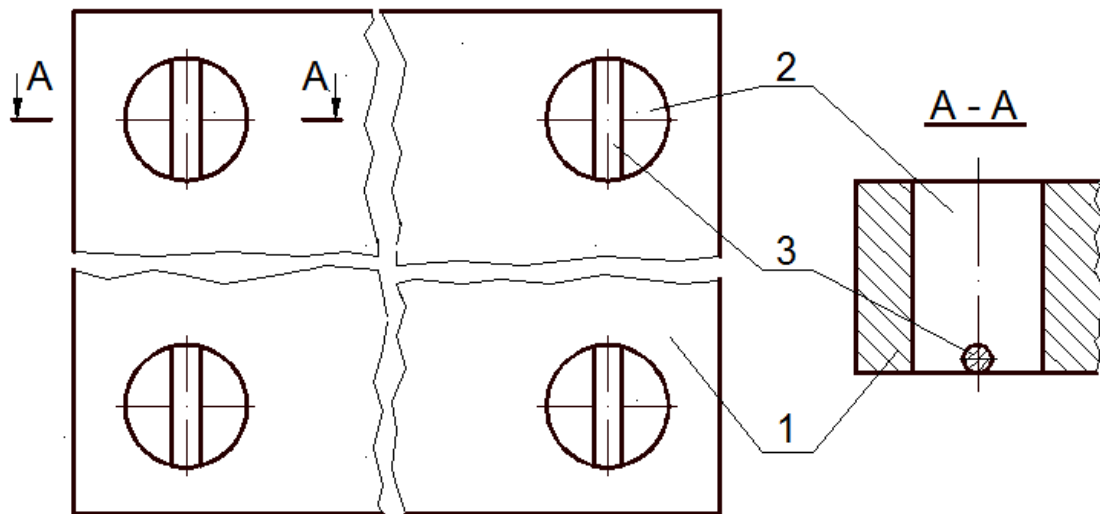


Рис. 3.1.1 Спосіб виготовлення біметалів при з'єднанні його пластин потужним джерелом енергії з використанням штифта: 1- пластина-основа біметалу; 2-технологічний отвір; 3-штифт-компенсатор глибини ванни розплаву; $h = z_{\max} - z_{\text{опт}} = 1 \dots 2$ мм.

3.1.2. СПОСІБ ВИГОТОВЛЕННЯ БІМЕТАЛІВ ПРИ З'ЄДНАННІ ЙОГО ПЛАСТИН ПОТУЖНИМ ДЖЕРЕЛОМ ЕНЕРГІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗБІРНОЇ ПЛАСТИНИ ОСНОВИ

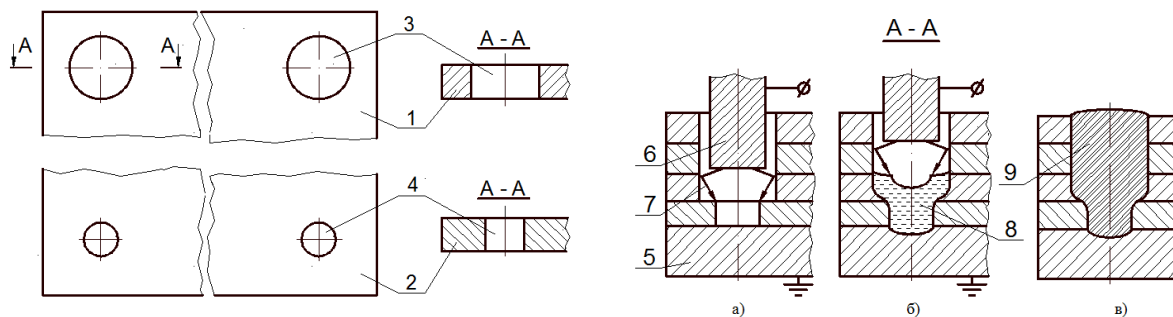


Рис. 3.1.2. Спосіб виготовлення біметалів при з'єднанні його пластин потужним джерелом енергії з використанням збірної пластини основи :1- пластина основи;2-компенсуюча пластина основи;3 і 4 технологічні отвори для вводу і подальшого плавлення електрода;5- робоча пластина;6- плавкий електрод;7- напрямок дуги;8- ванна розплаву;9-заповнений розплавом технологічний отвір.А,Б,В – поступові етапи створення біметалу.

3.1.3. СПОСІБ ВИГОТОВЛЕННЯ БІМЕТАЛІВ ПРИ З'ЄДНАННІ ЙОГО ПЛАСТИН ПОТУЖНИМ ДЖЕРЕЛОМ ЕНЕРГІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОТВОРІВ ТА ШАЙБ.

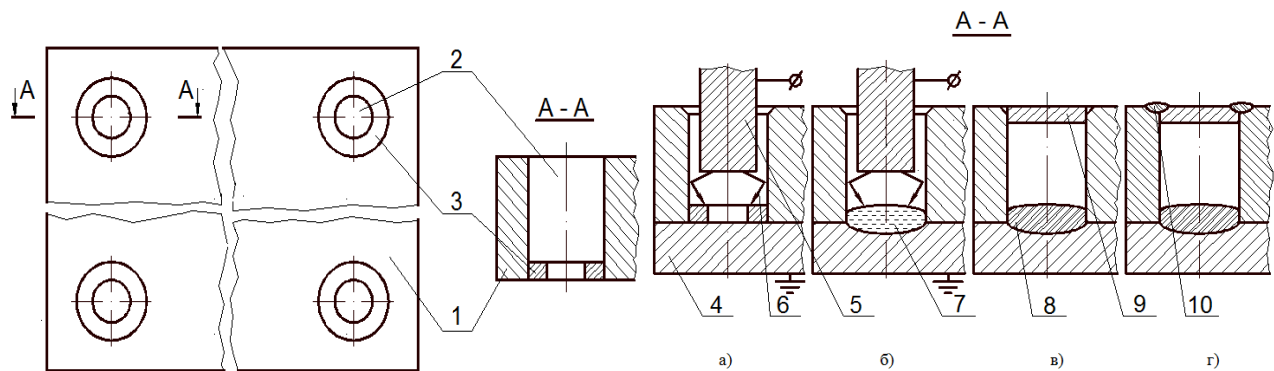


Рис.3.1.4. Спосіб виготовлення біметалів при з'єднанні його пластин потужним джерелом енергії з використанням технологічних отворів та шайб: 1- пластина основи; 2-технологічний отвір; 3 – шайба; 4- робоча пластина; 5- плавкий електрод; 6- напрямок дуги; 8- ванна розплаву; 9-пробка технологічного отвору; 10- зварні шви для унеможливлення випадання пробки технологічного отвору. А, Б, В, Г – поступові етапи створення біметалу.

3.1.4. СПОСІБ ВИГОТОВЛЕННЯ БІМЕТАЛІВ ПРИ З'ЄДНАННІ ЙОГО ПЛАСТИН ПОТУЖНИМ ДЖЕРЕЛОМ ЕНЕРГІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ СТУПІНЧАТИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОТВОРІВ .

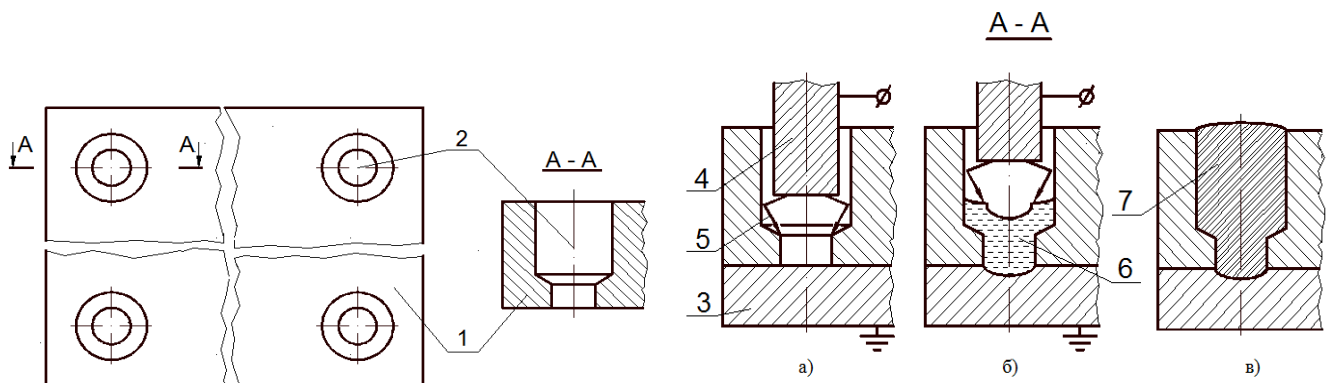
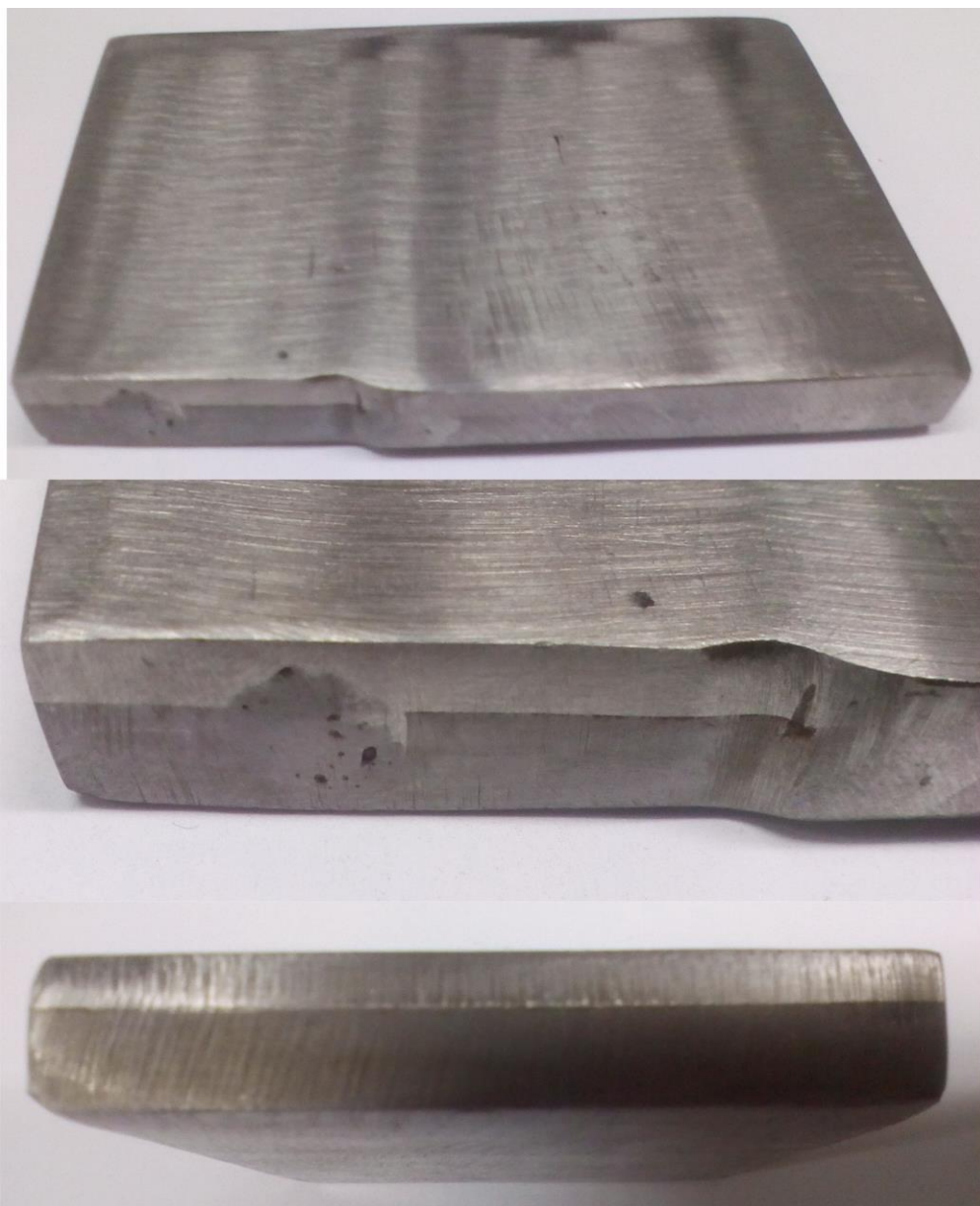


Рис.3.1.4. Спосіб виготовлення біметалів при з'єднанні його пластин потужним джерелом енергії з використанням ступінчатих технологічних отворів:1- пластина основи;2-технологічний ступінчастий отвір;3 – робоча пластина;4- плавкий електрод;5- напрямок дуги;6- ванна розплаву;7-заповнений розплавом ступінчастий технологічний отвір;А,Б,В – поступові етапи створення біметалу.^x

3.2. ПРИКЛАДИ ОТРИМАННЯ БІМЕТАЛІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ПОТУЖНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Особливостями використання потужних джерел енергії при з'єднанні пластин біметалів є те, що таке зчеплення виконується через періодично розміщені технологічні отвори в пластині основи. В ці отвори підводиться енергія, наприклад, електричної дуги через плавкий електрод. Як результат, в місцях з'єднання можливе не повне заповнення технологічного отвору. Тому в наявності деякі пустоти, але добре видно зчеплення більш товстої основної пластин з робочою пластиною меншої товщини (рис.3.2 а, б).



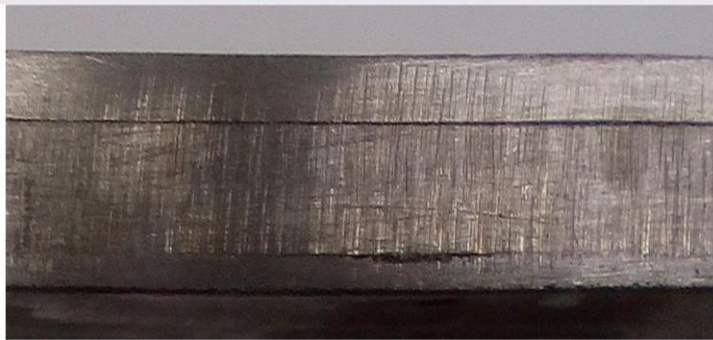
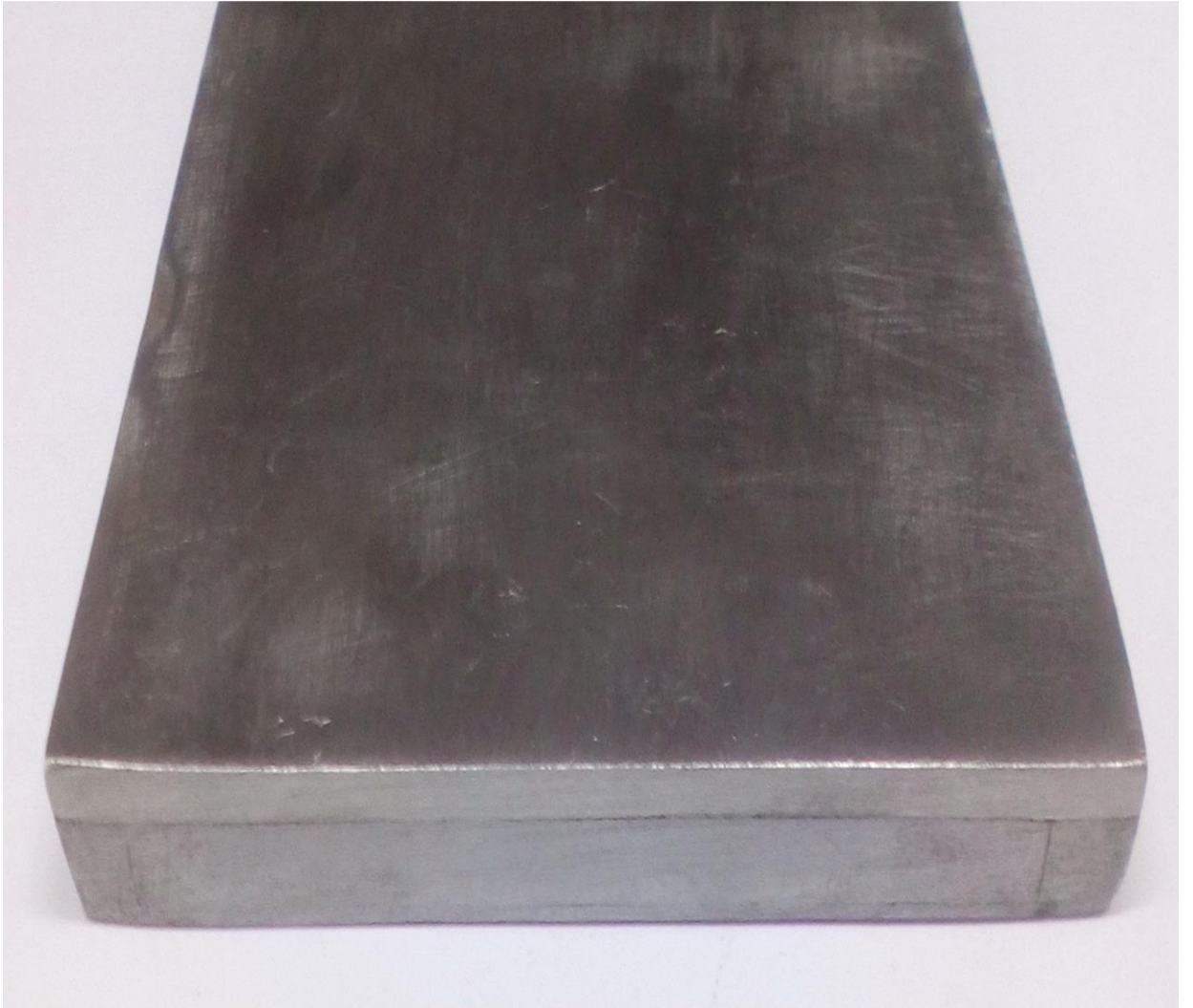
a)



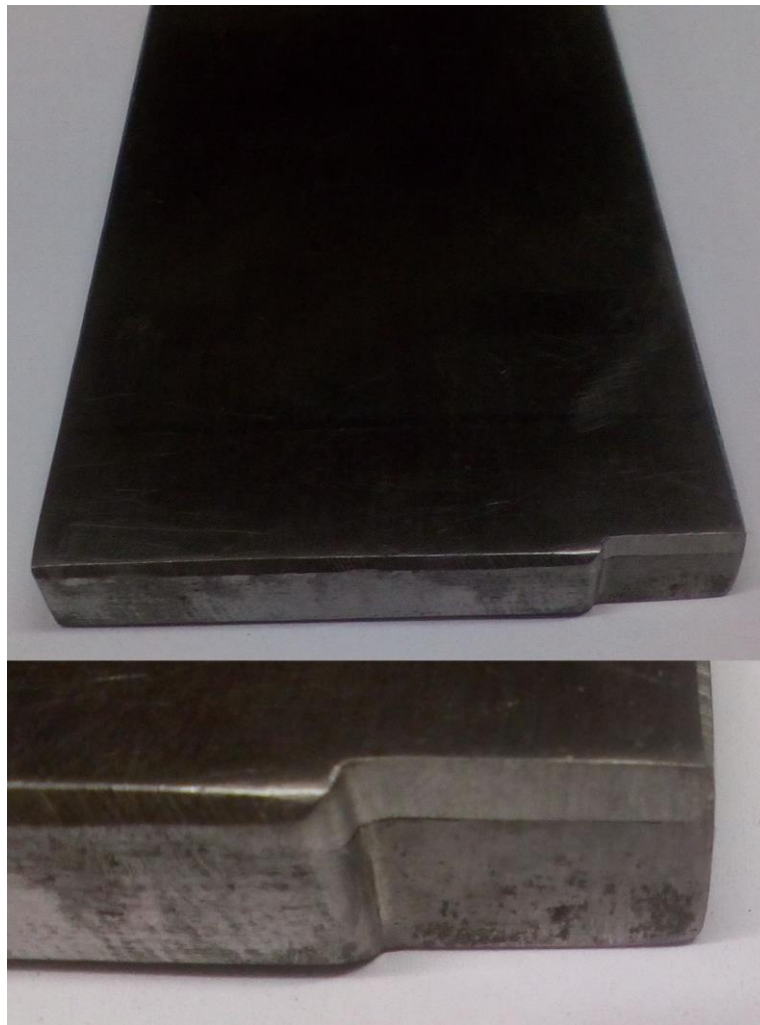
б)

Рис.3.2. Приклади з'єднання пластин біметалів через періодично розміщені в пластині основи технологічні отвори та наявність пустоти в місцях зчеплення.

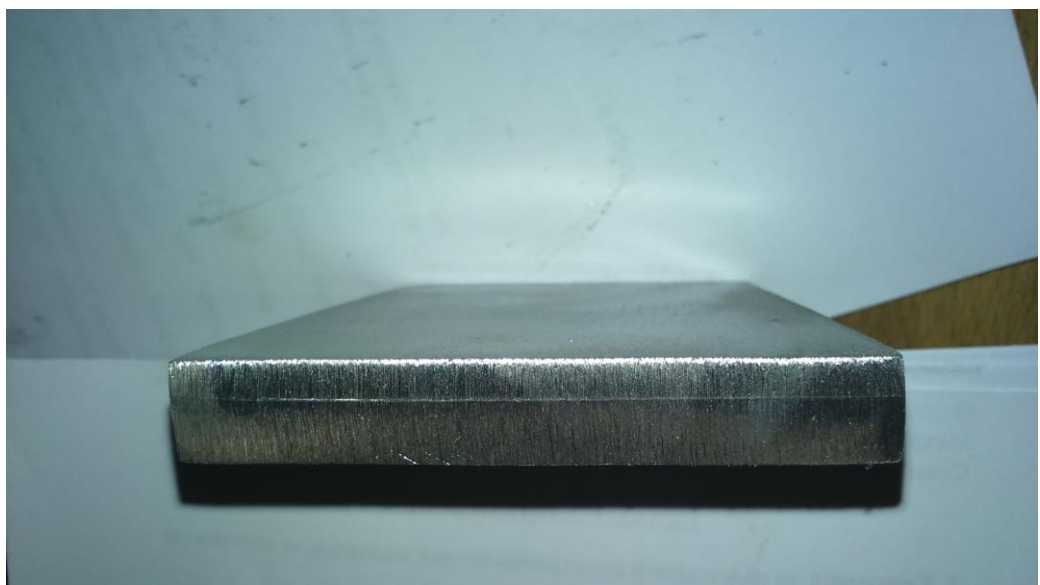
Потрібна кількість таких технологічних отворів і місць зчеплення і забезпечує надійне з'єднання пластин біметалу (рис.3.3, а, б,в).



a)



б)



в)

Рис.3.3. Надійне з'єднання пластин біметалу при використанні потужних джерел енергії.

ВИСНОВКИ

▣ Було запропоновано новий спосіб отримання біметалу способом з'єднання його пластин потужним джерелом енергії , а саме вводом плавкого електроду в технологічні отвори з подальшим його плавленням для утворення з'єднання пластин біметалу , в результаті якого вийшли зразки представлені вище.

▣ Було розглянуто основні параметри для утворення біметалів даним способом

▣ Було запропоновано шляхи рішення проблеми наскрізного проплавлення шару металу робочої пластини, способом виготовлення біметалів при з'єднанні його пластин потужним джерелом енергії з використанням:

- штифта у технологічному отворі;
- збірної пластини основи;
- шайб у технологічному отворі;
- ступінчатих технологічних отворів.

Таким чином, спосіб стає придатним для забезпечення необхідної глибини проварювання між пластинами біметалу та, як результат, потрібної міцності їх зчеплення при відсутності псування поверхні робочої пластини

4. ПРОЕКТ ПО ВІДКРИТТЮ ПІДПРИЄМСТВА ПО ВИГОТОВЛЕННЮ БІМЕТАЛІЧНИХ ЛИСТІВ

Ідея : відкрити підприємство яке буде виготовляти біметалічні листи, які будуть складатись із х/к або г/к листів сталей із листами нержавіючих сталей за технологією : спосіб виготовлення біметалів при з'єднанні його пластин потужним джерелом енергії.

4.1.МАРКЕТИНГОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

▣ Так як технологія є новаторська на ринку поки нема пропозицій продажу зразків даної продукції.

▣ Можна оцінити вигоду при закупці матеріалу без врахування витрат на сам процес виготовлення біметалу у порівнянні із листами нержавіючої сталі однієї товщини із листами біметалу.

▣ Найбільш економічно і технічно доцільно виготовляти біметали товщиною 4 мм і більше.

▣ Так для виготовлення біметалу товщиною 4 мм , треба лист х/к або г/к чорнових сталей товщиною 2 мм розмірами 1250*2500 , ціна виходить 980 ГРН. Лист нержавійки 2*1250*2500 , ціна 4200.

▣ Лист нержавійки 4*1250*2500 , ціна 9900.

▣ Прибуток на матеріалах $9900 - (4200 + 980) = 4720$ грн!

4.2.ОЦІНКА ПРИБУТКОВОЇ ВИГОДИ

Для оцінки будуть проводитись розрахунки для виготовлення одного листа біметалу!

Один лист х/к або г/к сталей повинен мати отвори діаметром 6 мм із кроком 50 мм тоді на один лист розмірами 1250*2500*2 припадає 1250 отворів довжина їх окружності $6\pi \cdot 10^{-3}$ м, загальна погонна довжина оброблюваних отворів 24 м.Різка лазером 1 м погонного в Києві -15 грн ,маємо $24 \cdot 15 = 360$ грн за лист основи.

Для з'єднання листів треба один зварювальник, його оплата «на руки» 63 грн/год + 20% податків ≈ 90 грн.

Для кінцевої обробки потрібен слюсар – 80 грн/год.

Витратні матеріали (електроди,шліфувальні круги , засоби індивідуального захисту працівників)-2 пари рукавиць – 40 грн , 2 пари біруш – 30 грн , 1,5 кг електродів – 40 грн , 5 шліфувальних кругів 100 грн.

Транспортні послуги 400 грн (газель).

Один вантажник 80 грн.

Разом будемо мати такі витрати на технологічний процес виготовлення одного листа біметалу – $360 + 90 + 80 + 40 + 30 + 40 + 100 + 14 + 400 + 80 = 1230$ грн.

Оскільки прибуток на матеріалах 4720 грн , то $4720 - 1150 = 3486$ грн – орієнтовний чистий прибуток , але це у порівнянні із листом нержавійки однакової товщини із листом біметалу , щоб швидше зробити попит на нашу продукцію можна пожертвувати прибутком для здешевлення кінцевої продукції на 400~500 грн , тоді приблизно прибуток буде ≈ 3000 грн із одного листа.

4.3.БІЗНЕС ПЛАН

[illegible][illegible]

Спочатку приміщення буде орендуватись , а з часом вивільнення грошей , повністю викупиться.

Спочатку в листах основи біметалу (листи х/к або г/к) технологічні отвори будуть робитися фірмою підрядником , а з часом вивільнення засобів , буде придбано лазер для виготовлення даних технологічних отворів.

Спочатку утворення ванни розплаву між пластинами біметалу буде робитись способом полуавтоматичного зварювання , але цей спосіб легко автоматизується і з вивільненням засобів буде закуповуватись обладнання для автоматизації цієї операції і внаслідок буде підвищено продуктивність.

4.4.КОМАНДА ПРОЕКТУ

Головний інженер, завгосп , робочий , керівник підприємства – Осипенко Т.М.

Головний бухгалтер , головний юрист – Корнійчук Н.М.

4.5.КОШТОРИС І ЧАС ПОЧАТКУ РОБОТИ

По приблизним підрахункам кошторис складає 6550 USD + 30 % «про запас»=8515 USD.

Орієнтовний час запуску підприємства 11 тижнів.

4.6. ОЦІНКА РИЗИКІВ ПРОЕКТУ

Вид ризиків	Вірогідність	Вплив	Сумарний вплив
Курс долара	0,5	0,2	0,01
Зміни законодавства	0,1	0,8	0,08
Персонал	0,6	0,3	0,18
			$\Sigma = 25\%$

ВИСНОВКИ

Узагальнюючи все вище сказане можна підсумувати, що запропоновані принципово нові методи отримання біметалів при використанні таких потужних джерел енергії як електродугове зварювання та лазерне випромінювання, котрі отримали назву: «виготовлення біметалів при з'єднанні його пластин потужним джерелом енергії». Даний метод є актуальним, оскільки дає можливість отримати ширину нанесеного шару практично любого розміру для різних товщин робочого шару та основи біметалу, при високому ступені автоматизації і економічності витратного матеріалу та енергоресурсів.

В ході виконання даної роботи було проведено ряд експериментів, котрі підтвердили доцільність використання таких технологій для отримання біметалевих листів. Розроблені схеми з'єднання шарів біметалу при використанні різноманітних підходів, що забезпечують надійне плавлення підкладки.

Проаналізовані проблеми, котрі виникли при розробці методу утворення біметалевих виливків з використанням потужних джерел енергії та запропоновані способи їх вирішення.

Розроблені правила по охороні праці. Так, як електродугова, лазерна та ливарна технології несуть велику небезпеку для життєдіяльності робітників. Виконання даних правил є обов'язковим для працівників.

Отримані дані засвідчили економність використання методу виготовлення біметалевих виливків з використанням потужних джерел енергії для отримання біметалевих виробів з точки зору використання енергетичних ресурсів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ І САЙТІВ

-
1. ⁱ А.Т. Зельниченко., В.Н. Липодаев. Технологии Метериалы Оборудывание КАТАЛОГ сварка, резка, наплавка, пайка, нанесение покрытий, 2005. - 256 с. <http://weldingsite.in.ua/spravochnik/ies.pdf>
 2. ⁱⁱ – Тематический сборник «Наплавка, Технологии, Материалы, Оборудование». – ИЭС им.Е.О.Патона, НАНУ. 2015. -402 с. https://studopedia.ru/19_239471_suchasni-materiali-dlya-naplavlennya.html
 3. Інженерія поверхні: Підручник / К. А. Ющенко, Ю. С. Борисов, В. Д. Кузнецов, В. М. Корж — К.: Наукова думка, 2007. — 559 с. — ISBN 978-966-00-0655-3
 4. Электрошлаковая сварка и наплавка / Под ред. Б. Е. Патона. — М.: Машиностроение, 1980. — 511 с.
 5. Хасуи А., Мorigаки О. Наплавка и напыление. Пер. с яп. М.: Машиностроение, 1985. — 240 с.
 6. Григорьянц А. Г. Основы лазерной обработки материалов. М.: Машиностроение 1989. — 304 с. — ISBN 5-217-00432-0
 7. ⁱⁱⁱ <https://www.bankreferatov.ru/ru/vostanovlenie-shtampov/1835636/>
 8. ^{iv} <https://www.bankreferatov.ru/ru/vostanovlenie-shtampov/1835636/>
 9. ^v <https://www.bankreferatov.ru/ru/vostanovlenie-shtampov/1835636/>

-
- 10.^{vi} <https://www.bankreferatov.ru/ru/vostanovlenie-shtampov/1835636/>
- 11.^{vii} <https://www.bankreferatov.ru/ru/vostanovlenie-shtampov/1835636/>
- 12.^{viii} <https://www.bankreferatov.ru/ru/vostanovlenie-shtampov/1835636/>
13. https://studopedia.ru/19_239472_porivnyalni-harakteristiki-deyakih-metodiv-naplavlennya.html
14. https://studopedia.ru/19_239474_realizatsiya-tehnologii-virobnitstvabimetaliv-lazerno-livarnim-metodom.html
15. Головка Л.Ф., Романенко В.В., Блощин М.С., Хорошуля М.В., Сахно Р.І., Осипенко Т.М. Особливості технології виробництва біметалів лазерно-ливарним методом / В зб. «VIII Міжнародна науково-технічна конференція “Теоретичні та практичні проблеми в обробці матеріалів тиском і якості фахової освіти”, 29 травня - 2 червня 2017 р., м.Херсон, Україна. https://studopedia.ru/19_239475_pristriy-dlya-lazerno-livarnogo-vigotovlennya-bimetaliv.html
16. Романенко В.В., Головка Л.Ф., Кривцун І.В., Лихошва В.П., Шатрава О.П. Пристрій для лазерно-ливарного виготовлення біметалів // Патент на корисну модель № 96621 10.02.2015 Бюл. № 3.
17. Романенко В.В., Головка Л.Ф., Кривцун І.В., Лихошва В.П., Шатрава О.П. Автоматизований пристрій для лазерно-ливарного виготовлення біметалів // Патент на корисну модель № 96622 10.02.2015 Бюл. № 3.
18. Романенко В.В. Експериментальна оцінка можливості отримання біметалів лазерно-ливарним методом // В зб. «XVII Міжнародна науково-технічна конференція «Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта», 21-24 червня 2016 р., м.Одеса, Україна.
19. Осипенко Т.М., Романенко В.В. Деякі підходи до реалізації процесу виготовлення біметалів потужним джерелом енергії / В зб. «Тези доповідей

загально університетської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів, секція «Машинобудування», Київ, 31 травня 2017, стор. . // Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів «Інновації молоді – машинобудуванню 2017», секція «Лазерна техніка та фізико-технічні технології». - К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. - С.3. - Режим доступу до ресурсу <http://s-konf.mmi.kpi.ua/imm2017/paper/viewPaper/8155>

20. Романенко В.В., Блощин М.С., Осипенко Т.М. Способи реалізації процесу виготовлення біметалів потужним джерелом енергії / В зб. «Тези доповідей XVII Всеукраїнської науково-технічної конференції «Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво», 01 - 03 листопада 2017 р. м. Чернігів, Україна.

21. <http://uapatents.com/5-96622-avtomatizovaniij-pristriij-dlya-lazerno-livarnogo-vigotovlennya-bimetaliv.html>

22. Конференція 14 травня 2018 року Київ «Інновації молоді – машинобудуванню», тези на тему : «Способи реалізації процесу виготовлення біметалів потужним джерелом енергії» , збірник доповідей. <http://s-konf.mmi.kpi.ua/imm2018/paper/view/12946/6200>

ДОДАТКИ